

Digitalização do Chão de Fábrica numa Empresa da Indústria Automóvel

António Pedro Correia da Silva Pinheiro

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. João Alberto Vieira Campos Pereira Claro



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2022-07-11

Resumo

A quarta revolução industrial introduz um novo paradigma no setor industrial, que apresenta novas oportunidades e desafios. O desenvolvimento de novas tecnologias, como *Big Data*, *Internet das Coisas* (IoT) e *Cloud Computing* possibilitou a transição digital que caracteriza a Indústria 4.0. O ritmo de mudança frenético com que novas tecnologias são desenvolvidas e lançadas faz com que muitas empresas se possam sentir à deriva e não saibam como iniciar esta transição, o que as pode deixar numa posição de desvantagem competitiva. Efetivamente, a digitalização do chão de fábrica é um dos primeiros passos que qualquer centro de produção pode acionar para garantir competitividade no contexto da indústria do século XXI.

Neste contexto, a presente dissertação aborda a digitalização do chão de fábrica numa empresa da indústria automóvel em todas as suas vertentes, tendo sido desenvolvida não só através da consulta e análise de literatura existente acerca da Indústria 4.0, mas também usando a experiência e conhecimento de uma *start-up* tecnológica. Para tal, é explorada a forma como uma plataforma tecnológica pode auxiliar a melhoria do controlo de fluxos de informação entre setores de produção, bem como o controlo do tempo gasto em atividades que não têm valor acrescentado de registo e monitorização de produção, através da digitalização do cálculo de indicadores de performance.

O trabalho realizado ao longo da presente dissertação possui uma dimensão não apenas teórica, mas também prática. São explorados os conceitos teóricos por detrás das tecnologias que possibilitam a transição digital para a indústria 4.0 e as noções necessárias para um projeto prático de digitalização do chão de fábrica. Para além disso, o presente trabalho oferece um guia prático de aplicação dos conceitos teóricos numa empresa do ramo automóvel, como *Original Equipment Manufacturer*, salientando a importância do tempo de reação e da integração entre linhas de produção que este tipo de indústria apresenta. Nesse sentido, a presente dissertação foi desenvolvida no contexto de um projeto de implementação real de digitalização do chão de fábrica, bem-sucedido, com impacto considerável no aumento da produtividade e na redução de custos da empresa. Tal é alcançado explorando três áreas de intervenção principais – conectividade, visibilidade e transparência – com um ênfase particular na captação dos sinais das máquinas e a arquitetura da informação, bem como na visibilidade dos dados recolhidos e os respetivos KPIs em tempo real e a transparência necessária para agir sobre os dados recolhidos, em formato de colaboração e melhoria contínua. Há uma última vertente, relacionada com a gestão da mudança, que é crucial para que haja sucesso do projeto não só na parte técnica, mas também no que diz respeito aos recursos humanos.

Por fim, esta dissertação apresenta, igualmente, um guião prático para a integração entre sistemas tradicionais como MES/ERP e sistemas recentes como as plataformas IoT, apresentando os benefícios que esta integração pode trazer e fazendo a comparação entre funcionalidades e os seus papéis dentro do universo digital de uma empresa. Como tal, o trabalho exposto na presente dissertação deixa pistas para investigação posterior no sentido de aprofundar aspetos técnicos e práticos de como padronizar a ligação técnica entre sistemas informáticos implementados numa empresa.

Digitisation of the Shop Floor in a company of the Automotive Industry

Abstract

The fourth industrial revolution introduces a new paradigm in the industrial sector, which presents new opportunities and challenges. The development of new technologies, such as Big Data, Internet of Things (IoT) and Cloud Computing has made possible the digital transition that characterizes Industry 4.0. The pace with which new technologies are being developed and launched is frantic, which might make many companies feel lost and, thus, troubled in their transition, leaving them at a point of competitive disadvantage. Therefore, the digitisation of the shop floor is one of the first measures that any manufacturing centre can take to ensure its competitiveness in the context of the 21st century industry.

In this context, the work carried out in this thesis addresses the digitisation of the shop floor in all its components, having been developed not only through the consultation of literature already existent on Industry 4.0, but also relying on the expertise of a technology start-up. To achieve so, it features an exploration of the way in which a technological platform can aid in the improvement of the information flow control between manufacturing sectors, as well as the control of the time spent in non-value added activities in manufacturing, by automating the calculation of performance indicators.

There is not only a theoretical component to the work presented in this thesis, but also a practical one. The theoretical concepts behind the technologies that make the digital transition possible were explored, as well as the necessary notions that can turn a shop floor digitisation practical project as this one into a successful project. Furthermore, the present work offers a practical guide to apply the theoretical concepts in an automotive company, as a Original Equipment Manufacturer, highlighting the importance of the reaction time and integration between production lines that characterizes this industry in particular. In that regard, this thesis was developed in the context of a successful real implementation project, with an overall considerable impact in the increase of productivity and decrease in costs of the company. This is achieved by exploring three intervention areas – connectivity, visibility, and transparency with an emphasis on the examination of topics such as machine signal collection and information architecture, as well as visibility of the collected data and their respective KPIs in real time and the transparency necessary to act on said data, through the means of collaboration and continuous improvement. There is one last dimension, related to change management, that is crucial to a project's success, in particular one involving people.

Lastly, this master's thesis presents a practical guideline about the integration between traditional systems such as MES/ERP and more recent systems such as IoT platforms, by describing the benefits that such an integration can bring and establishing a comparison between their functionalities and their roles within the digital universe of a company. On that account, the work presented in this document leaves suggestions of potential subsequent research in order to advance the knowledge on this topic and set a clear technical and practical standard to establish the connection among IT systems implemented in an organisation.

Agradecimentos

Este projeto é o culminar de cinco anos de estudo na FEUP, onde tive a oportunidade de criar memórias que guardo com muito apreço e carinho. Foram várias as experiências, aprendizagens e descobertas durante este período, possibilitadas por todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram a chegar a esta etapa. A todas elas deixo o meu agradecimento sincero, por acreditar que o valor destes momentos reside naqueles que os integram. Desta maneira, reservo esta secção para agradecer, particularmente, às pessoas mais envolvidas nesta fase da minha vida e que contribuíram para que eu conseguisse desenvolver um projeto do qual estou orgulhoso.

A todos os membros da proGrow, agradeço por me terem acolhido, desde o primeiro dia, e me terem feito sentir incluído na equipa e à vontade para questionar e aprender. Foi um prazer ter feito parte de um ambiente tão inclusivo e dinâmico, desde o momento do primeiro contacto tão incomum, mas caricato, que recordarei para sempre com muita felicidade.

Ao meu orientador na empresa, Ricardo Tschan Carvalho, queria agradecer pela disponibilidade demonstrada, pela confiança no meu trabalho e na minha autonomia, fazendo com que eu me sentisse valorizado sem que nunca me sentisse desamparado. A sua orientação e acompanhamento do projeto foram essenciais para o seu desenvolvimento e sucesso.

À minha amiga e colega Bárbara Correia, que desde o primeiro dia me ajudou a conhecer os cantos à casa, incansável na sua prontidão e supervisão, agradeço profundamente todo o apoio, preocupação, ajuda e amizade que senti ao longo destes meses. A sua disponibilidade para esclarecer dúvidas, auxiliar o desenvolvimento deste projeto e facilitar a minha adaptação a uma nova realidade foram cruciais para o sucesso do projeto. A sua boa disposição e carácter permitiram boas discussões e trocas de ideias que enriqueceram tanto a mim como pessoa, como o meu trabalho.

Ao meu orientador da FEUP, Prof. João Claro, endereço o meu sincero muito obrigado, pela sua preocupação desde o primeiro momento do projeto. A suas sugestões foram essenciais para elevar a qualidade do trabalho desenvolvido e garantiram que nunca me senti perdido ao longo do projeto. A sua orientação académica, através das discussões e reflexões que se foram desenvolvendo ao longo destes meses, contribuíram para o enriquecimento da dissertação presente.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos mais próximos, que sempre me apoiaram e fizeram desta etapa um período memorável e inesquecível. A todos aqueles que me acompanharam de perto, e que me conhecem a mim e à minha essência, agradeço toda a sua preocupação, conselhos e companhia, os almoços e jantares, os desabafos, e a sua ajuda, tendo-me sempre encorajado quando eu precisava.

Por fim, agradeço a toda a minha família, mas, especialmente, aos meus pais e à minha irmã. Aos meus pais, por aceitarem e respeitarem as minhas vontades e desejos, sempre imbuídos num desejo de que eu crescesse, alimentando a minha vontade de aprender e crescer, nunca negando uma oportunidade para tal e dando-me tudo o que eu precisava para ser bem-sucedido. À minha irmã, por ser a minha melhor amiga, a minha confidente, alternando entre um misto de encorajamento e preocupação, motivando-me para aceitar novos desafios e crescer como pessoa.

Ao chegar ao fim deste projeto, não consigo deixar de me sentir privilegiado por todas as oportunidades que pude aproveitar ao longo da minha vida.

A todos, deixo o meu sincero muito obrigado.

“If you're lucky enough to be different, never change. And if you're lucky enough to find something you love, and you have a shot at being good at it, don't stop, don't put it down.”

Taylor Swift

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Contexto da Dissertação	1
1.2	Apresentação das Empresas	2
1.2.1	proGrow	2
1.2.2	Empresa Cliente	3
1.3	Apresentação do Projeto e dos Objetivos	3
1.4	Metodologia.....	4
1.5	Estrutura da Dissertação	5
2	Revisão da Literatura	7
2.1	Indústria 4.0	7
2.1.1	Big Data	9
2.1.2	Cloud Computing	10
2.2	Sistemas Ciber-Físicos (CPS).....	11
2.2.1	CPS na Indústria.....	11
2.2.2	CPS vs. IoT.....	13
2.3	Digitalização do Chão de Fábrica	14
2.3.1	Conectividade	14
2.3.2	Visibilidade.....	15
2.3.3	Transparência.....	18
2.4	Gestão da Mudança.....	20
3	Análise da Situação Inicial AS-IS	22
3.1	Apresentação da Organização do Chão de Fábrica	22
3.1.1	Pavilhão Cave.....	23
3.1.2	Pavilhão 1	23
3.1.3	Pavilhão 2	24
3.2	Maturidade Digital	25
3.2.1	Recolha/Registo de Dados no Chão de Fábrica.....	26
3.3	Exposição do Problema	30
4	Descrição da Solução TO-BE	31
4.1	Validação de Dados	31
4.2	proGrow no Processo.....	33
4.3	Solução Implementada vs. Soluções Tradicionais	33
4.4	Componentes da Solução	35
4.4.1	Conectividade	35
4.4.2	Visibilidade.....	40
4.4.3	Transparência.....	46
4.4.4	Gestão da Mudança.....	47
4.5	Impacto da Solução	48
5	Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro	50
	Referências	53
	ANEXO A: Plantas dos Pavilhões do Chão de Fábrica da Empresa Cliente	59
	ANEXO B: Interfaces do MES implementado no Chão de Fábrica da Empresa Cliente	63
	ANEXO C: Diagrama de Integração de funcionalidades ERP/MES/proGrow	66

ANEXO D: Tipos/Motivos de Paragens e de Rejeições de Peças Produzidas e respectivas interfaces de registo	68
ANEXO E: Detalhes dos KPIs calculados através de fórmulas	72
ANEXO F: Maquetes das Vistas Setor/Fábrica do Módulo “Shopfloor”	74
ANEXO G: Interfaces do Módulo “Shopfloor”	76
ANEXO H: Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da Fábrica produzido automaticamente pela plataforma proGrow	79
ANEXO I: Relatórios de um exemplo de Projeto do Tipo A3 do Módulo “Melhoria”	83
ANEXO J: Interface do Módulo de “Melhoria”	86

Acrónimos e Siglas

API	Application Programming Interface
CEO	Chief Executive Officer
CNC	Comando Numérico Computorizado
CPS	Sistema Ciber-Físico
ERP	Enterprise Resource Planning
UE	União Europeia
FTE	Full-Time Equivalent
GPS	Global Positioning System
HMI	Human-Machine Interface
IaaS	Infrastructure as a Service
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
MAG	Metal Active Gas
MES	Manufacturing Execution System
MIG	Metal Inert Gas
MRP	Material Resource Planning
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
OC	Ordem de Corte
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
OF	Ordem de Fabrico
OP	Ordem de Produção
OPC	Open Platform Communications
PaaS	Platform as a Service
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PLC	Programmable Logical Controller
PLM	Product Lifecycle Management
RFID	Radio Frequency Identification
SaaS	Software as a Service
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SQL	Structured Query Language
TI/IT	Tecnologia da Informação
TIG	Tungsten Inert Gas
TO	Tecnologia Operacional
WIP	Work in Progress

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Gantt chart das fases do projeto	5
Figura 2.1 – Categorias de Serviços de <i>Cloud Computing</i>	11
Figura 2.2 – Estrutura do <i>standard</i> ISA-95	12
Figura 2.3 – Estrutura da arquitetura 5C para CPS	13
Figura 2.4 – Fases de Desenvolvimento da Indústria 4.0	14
Figura 3.1 – <i>Layout</i> do Pavilhão Cave com os setores da soldadura	23
Figura 3.2 – <i>Layout</i> esquemático do Pavilhão 1.....	24
Figura 3.3 – <i>Layout</i> Simplificado do Pavilhão 2.....	25
Figura 3.4 – Estação de Recolha de Dados de Produção composta por um computador tradicional	27
Figura 3.5 – Exemplo de uma OF utilizada no chão de fábrica	28
Figura 3.6 – Quadro de Setor de Apresentação de KPIs, Melhoria Contínua e Auditorias	29
Figura 4.1 – Funcionalidades ERP/MES/proGrow	34
Figura 4.2 – Quadros elétricos instalados no chão de fábrica para captação de sinais das máquinas.....	37
Figura 4.3 – Esquema sobre o processo de extração de dados sobre OPs do ERP	38
Figura 4.4 – Interface de Registo Manual dos Contextos de Produção na plataforma proGrow	39
Figura 4.5 – Página do Módulo “KPIs”.....	42
Figura 4.6 – Exemplo de uma Página do Módulo “Shopfloor”.....	43
Figura 4.7 – Sinal Luminoso no Chão de Fábrica da Empresa Cliente.....	44
Figura 4.8 – Exemplo de Alerta de uma paragem para <i>set up</i>	45
Figura 4.9 – Exemplo de um Relatório produzida automaticamente na plataforma	45
Figura 4.10 – Módulo do “Kanban”	46
Figura 4.11 – Projeto de Melhoria do tipo A3.....	47

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Parâmetros do OEE.....	18
Tabela 2.2 – Categorização de Perdas no OEE.	18
Tabela 3.1 – Códigos e Máquinas por setor do chão de fábrica.....	22
Tabela 4.1 – Sinais Captados por tipo de máquina e setor	36
Tabela 4.2 – KPIs implementados na plataforma e respetiva granularidade dos dados.....	41
Tabela 4.3 – Código de Cores do Cartão OP.....	43
Tabela 4.4 – Código de Cores do Cartão Turno	44

1 Introdução

A presente dissertação de mestrado, realizada em ambiente empresarial, no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, teve a duração de 4 meses. O projeto foi realizado na proGrow, uma *startup* ligada ao ramo tecnológico e da indústria 4.0, no departamento de *Customer Success*, com vista a reduzir tempos despendidos com tarefas sem valor acrescentado no chão de fábrica, desde a produção até ao controlo de qualidade e performance.

1.1 Contexto da Dissertação

Hoje em dia, com o grande avanço nas tecnologias disponíveis bem como o aumento do poder computacional à disposição de qualquer entidade, pública ou privada, há uma panóplia de possibilidades no que diz respeito à aplicação desta revolução tecnológica a todos os aspetos da sociedade, e, particularmente, a empresas. É possível aferir tal facto através do inquérito realizado por Gregolinska et al. (2022), no qual, devido ao impacto da fábrica inteligente e da indústria 4.0, transversalmente a vários setores industriais, é comum registar reduções na ordem dos 30% a 50% nos tempos de paragem das máquinas, até 30% de incrementos na produtividade e 85% de melhoria na capacidade de previsão da empresa.

Efetivamente, estão abertas novas portas para que as organizações possam usar estas tecnologias para superarem obstáculos, alcançar a tão desejada vantagem competitiva e exceder metas e resultados até agora alcançados. Este facto é refletido na digitalização das empresas, nomeadamente do chão de fábrica, no caminho em direção à indústria 4.0.

Grande parte das tecnologias englobadas nesta nova revolução industrial já foram desenvolvidas há anos, e, embora algumas não estejam ainda prontas para serem usadas em grande escala, muitas atingiram um ponto em que a sua disponibilidade, fiabilidade e custo fazem com que sejam muito atrativas para algumas aplicações industriais (Sung, 2018). De acordo com um inquérito realizado por Chenneveau et al. (2020), consistentemente, as organizações não estão a par das tecnologias emergentes no mercado. Baur and Wee (2016) analisaram 300 empresas líderes nas suas áreas, e apenas 48% dos produtores se consideraram prontos para a adoção da indústria 4.0. Setenta e oito por cento dos fornecedores responderam que estava preparados, sendo que apenas 50% se encontravam a investir ativamente em iniciativas desta área (Baur & Wee, 2016). Adicionalmente, numa análise de mercado efetuada por Mordor Intelligence (2022), estima-se um impacto na economia mundial, em 2026, de cerca de \$267.01 mil milhões de dólares proveniente da aplicação da *Internet* das Coisas (IoT) no setor industrial, com uma taxa média anual de crescimento do setor, no período 2021-2026, de 20.71%. Estas estimativas apontam o continente europeu como o maior mercado para a indústria 4.0 e a IoT.

Todavia, os dados do setor industrial a nível europeu não são animadores, revelando que a União Europeia (UE) tem vindo a perder competitividade neste setor quando comparada com

outros países industrializados como os Estados Unidos, ou até mesmo a China e Coreia do Sul. De facto, a contribuição global da UE para o valor acrescentado do setor da produção caiu de 23% para 17%, no período de 1995 a 2013, uma descida de 6% que mostra que a UE apresenta uma tendência de desinvestimento no setor (Manufuture High-Level Group, 2018). Todos estes dados revelam a oportunidade de haver um novo impulso no setor da produção, que gere uma nova vitalidade na indústria europeia através da implementação de novas tecnologias relacionadas com a indústria 4.0 e fábricas inteligentes.

Ademais, o papel da indústria 4.0 assume uma natureza mais crítica quando enquadrado na crise pandémica de COVID-19. Os intervenientes que usufruíam de soluções digitais estiveram numa melhor posição para sobreviver e superar os obstáculos colocados durante esta situação excecional, tendo-se adaptado mais rapidamente do que os concorrentes durante a crise sanitária (Agrawal et al., 2020). Ao mesmo tempo que as organizações começam a pensar em “voltar ao normal”, retomar operações e construir a infraestrutura necessária para lidar com crises futuras, usar tecnologias digitais certamente estará no topo das prioridades de várias empresas. De acordo com um inquérito realizado por Chenneveau et al. (2020) a profissionais da área da produção e cadeias de abastecimento, 93% revelaram ter planos para aumentar a resiliência da sua cadeia de produção e 90% assumiram investir na digitalização para atingir os seus objetivos nessa área.

O caminho da digitalização de uma empresa é longo e demorado, com uma grande curva de aprendizagem, formação e adaptação. Não é fácil integrar máquinas, incluindo fazer com que estas “falem” entre si, com os trabalhadores, gestores e sistemas já existentes na organização. Nessa perspetiva, o primeiro passo no caminho da adoção desta nova dimensão industrial começa com a digitalização do chão de fábrica de forma a receber dados acerca do estado da produção em cada máquina, linha de produção, e na fábrica, de forma global, isto é, fazer com que as máquinas “comuniquem” com os trabalhadores e gestores para que estes estejam a par de tudo o que acontece na fábrica, em tempo real, de forma a auxiliar o processo de tomada de decisão.

1.2 Apresentação das Empresas

A empresa onde foi realizada a dissertação bem como a empresa cliente onde foi implementado o projeto são apresentadas nesta secção.

1.2.1 proGrow

A proGrow, S.A., fundada em 2014, é uma *startup* do ramo tecnológico que procura acelerar a transição da indústria global para o século XXI, trazendo para o quotidiano a realidade da indústria 4.0. Este facto é traduzido pelo mote da empresa – “Producing more with less” – que ilustra precisamente a missão da empresa: auxiliar empresas a produzir mais com menos, reduzindo tempos de reação e tempos gastos com tarefas que não acrescentam valor.

Como tal, a sua oferta passa por uma plataforma, a partir de agora também designada por “o proGrow”, dedicada à experiência do chão de fábrica, com conectividade e análise de dados de última geração. O proGrow foi desenhado para a linha da frente das operações, com o intuito de permitir conhecer toda a experiência dedicada às operações, desde o acompanhamento do estado de cada equipamento, introdução manual de informação complementar, até ao envio de alertas e posterior escalonamento de desvios. Desta forma, é possibilitada uma imediata análise e reação por parte dos trabalhadores e gestores devido à

visibilidade dos resultados em tempo real e dos esforços de melhoria a partir das ferramentas de análise e colaboração disponibilizadas na plataforma.

No centro desta solução, está a digitalização de equipamentos industriais. O proGrow coloca qualquer equipamento ou posto de trabalho online através das várias opções de integração com *IoT Gateways* e protocolos suportados, ou até mesmo através de interfaces manuais. Igualmente, há um foco na experiência do chão de fábrica, recorrendo à disponibilização de interfaces dedicadas a cada situação, desde páginas de controlo do posto utilizando *tablets*, até visões globais dos principais indicadores em monitores. Estes indicadores de produção são fornecidos em tempo real, permitindo a sua comparação com objetivos e processos de alertas. Adicionalmente, o proGrow gera relatórios e análises de dados para o apoio a todas as decisões de forma a capacitar as operações para agir e melhorar.

A função da empresa neste mercado é perceber as necessidades dos seus clientes e implementar e personalizar a plataforma de acordo com essas carências.

1.2.2 Empresa Cliente

A empresa cliente é especialista em protótipos e séries de folhas de metal na indústria automóvel, desde 1995, empregando mais de 250 pessoas em Portugal. É possível acrescentar que a empresa possui uma força de trabalho bastante diversa no que diz respeito à sua faixa etária, tendo como consequência uma aptidão e adoção das novas tecnologias de informação bastante díspar. Os seus processos de produção revelaram-se bastante heterogéneos, desde processos muito manuais e variáveis como a soldadura até processos completamente automatizados e serializados como o corte laser. Apesar da sua extensa experiência, adquirida ao longo de 25 anos no ramo, a empresa tem vindo a apostar na tecnologia e inovação para manter a sua posição de especialização e vantagem competitiva, daí a sua aposta neste projeto.

A pedido da empresa cliente, o seu nome, bem como o nome dos intervenientes e o que produz serão ocultados ao longo da presente dissertação.

1.3 Apresentação do Projeto e dos Objetivos

O projeto desenvolvido tem a intenção de ajudar uma empresa na indústria automóvel a iniciar os primeiros passos na direção de se tornar uma fábrica inteligente, através da implementação da plataforma proGrow. A situação no chão de fábrica da empresa era a de uma organização produtiva tradicional, com um baixo nível de automação de aquisição de dados e rastreio de *Key Performance Indicators* (KPIs). Para além disso, a digitalização dos fluxos de trabalho e de iniciativas de melhoria contínua não existia. Esta situação levava à alocação de tempo valioso de trabalho a tarefas como introduzir dados nos sistemas informáticos, calcular indicadores e preencher quadros de melhoria contínua e listas de ações. Esta utilização não é ótima no que toca à alocação do tempo dos trabalhadores, especialmente tendo em conta a disponibilidade de ferramentas que permitem que o chão de fábrica seja mais automatizado e digitalizado.

O projeto apresentado na presente dissertação possui um cariz global, em colaboração com equipas responsáveis por etapas distintas do mesmo. As áreas de intervenção sob responsabilidade própria, abordadas ao longo da dissertação, foram bem delineadas e abrangentes, com o objetivo de garantir o sucesso e pragmatismo do projeto.

O processo de execução da solução final a entregar à empresa cliente durou alguns meses e passou por diferentes fases como a revisão do âmbito e definição das especificações do

projeto; supervisão da instalação do hardware para a aquisição de dados; implementação da plataforma e respetiva programação e configuração de acordo com as necessidades do cliente; e, por fim, formação dos trabalhadores para o uso da plataforma e a sua utilização.

A solução implementada no âmbito deste projeto apresenta várias áreas sobre as quais houve uma intervenção no chão de fábrica. Em primeiro lugar, foi abordada a conectividade dos equipamentos e digitalização dos seus sinais, bem como a estruturação das fontes de dados. Durante este período, procedeu-se à supervisão da instalação dos equipamentos de recolha de dados e respetiva integração dos mesmos pelas equipas responsáveis. Em segundo lugar, houve a necessidade de apresentar a informação recolhida no chão de fábrica, de uma forma intuitiva e de fácil interpretação, através da visibilidade de indicadores e do estado de produção. Seguidamente, foi estabelecido um foco na transparência da solução, manifestado através da necessidade de fornecer ferramentas que possibilitem uma reação face aos indicadores calculados, na forma de melhoria contínua. Globalmente, foram configurados 5 módulos (“KPIs”, “Shopfloor”, “Relatórios”, “Kanban” e “Melhoria”), 54 equipamentos, 15 KPIs e 2 relatórios, entre outras ferramentas. A solução foi desenhada, configurada e implementada, na forma da plataforma proGrow e os respetivos módulos, KPIs, projetos e restante informação relevante. Os contributos foram concretos e práticos, nomeadamente no desenvolvimento de um novo fluxo de abertura de produção que acautelasse o fluxo já em uso no chão de fábrica, bem como na programação da solução. Por sua vez, a gestão da mudança foi uma área com especial atenção, de forma a garantir o sucesso do projeto e assegurar a aderência dos colaboradores à solução implementada. Por fim, foi aplicado um *framework* para a integração vertical entre os sistemas empresariais tradicionais ERP e MES, já implementados na empresa, e a plataforma IoT de digitalização do chão de fábrica.

Os objetivos da implementação da solução no cliente e, por consequência, deste projeto, passam pela redução do trabalho de controlo de indicadores de qualidade e performance, bem como a redução do tempo de reação das equipas operacionais a problemas de manutenção e gestão de tempo. A visibilidade acrescida e colaboração potenciada pela plataforma devem contribuir para a redução de tempo gasto em atividades que não trazem valor acrescentado para a empresa, mas também para melhorar a eficiência geral da fábrica. Esta melhoria pode ser avaliada através da visibilidade e transparência acrescidas dos KPIs, de maneira a auxiliar a tomada de decisão na empresa. Por fim, ao garantir a uniformização do registo de dados e integração entre sistemas de informação, a solução apresentada tem como objetivo a melhoria da comunicação entre setores da empresa.

Esta dissertação tem a intenção de servir como um exemplo da aplicação de vários conceitos teóricos da indústria 4.0 num contexto prático, de uma empresa do ramo automóvel em operação com uma maturidade tecnológica trivial. A digitalização do chão de fábrica é o principal conceito aqui aplicado, e este projeto deve acompanhar detalhadamente a sua implementação, desde a sua conceção e idealização, até à solução final, formação e utilização. Ao combinar ambos os conhecimentos (académicos e práticos), esta dissertação pretende funcionar como uma ferramenta de orientação para implementações práticas de digitalização de uma empresa duma maneira efetiva, traduzindo conceitos teóricos em resultados e aplicações práticas.

1.4 Metodologia

O projeto aqui descrito envolve várias empresas e *stakeholders*. Como tal, o primeiro mês do projeto foi utilizado para ficar a conhecer a proGrow, empresa responsável por desenvolver a solução, e a empresa cliente. Pouco depois, foi realizada uma revisão da literatura com vista a estabelecer uma fundação teórica sólida e abrangente de forma a poder prosseguir com o conhecimento necessário para o projeto.

A fase seguinte do projeto focou-se em estabelecer um ponto de partida acerca da situação inicial em que a empresa cliente se encontrava no que diz respeito aos seus processos de produção, à sua maturidade tecnológica e ao nível de digitalização e automação de processos de recolha de dados do chão de fábrica, nomeadamente o *workflow* de registo de produção e cálculo de indicadores de performance do chão de fábrica.

A etapa seguinte passou pela necessidade de estabelecer as especificações do projeto, os requisitos do cliente, perceber os problemas e desafios colocados e desenhar uma solução compatível com todas estas condicionantes. Como tal, foi necessário definir os equipamentos e respetivos sinais, fluxos de informação e melhoria contínua, indicadores e relatórios a digitalizar. É importante avaliar o impacto da solução final no fluxo de trabalho já existente na empresa cliente e os resultados esperados com a implementação desta solução.

Por fim, nos meses finais, foi implementada a solução e foram discutidos os resultados obtidos, bem como a abertura e adoção da solução pela empresa. A Figura 1.1 mostra a distribuição das tarefas pelo tempo do projeto num *Gantt chart*.

A metodologia seguida nesta dissertação encontra-se dentro da área da investigação prática. O tipo de investigação efetuada foi uma investigação aplicada, com o objetivo de desenvolver técnicas e soluções reais (McCombes, 2019), e a validação de dados teve uma natureza primária e secundária, através dos dados enviados pela empresa cliente bem como os dados registados durante as visitas efetuadas à fábrica e reuniões regulares que tiveram lugar ao longo do desenvolvimento do projeto.

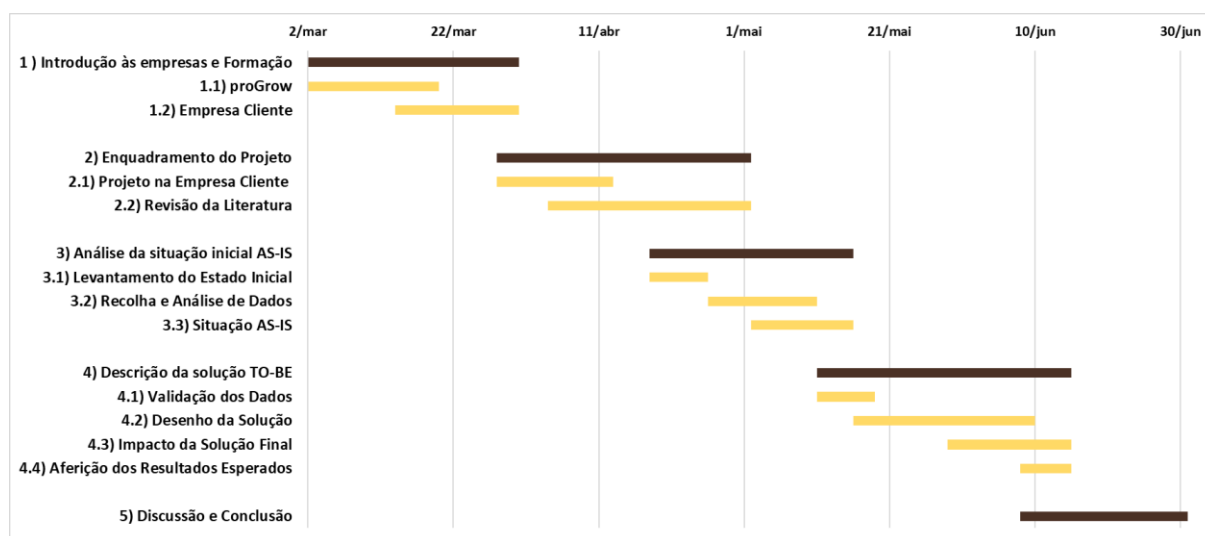


Figura 1.1 - Gantt chart das fases do projeto

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, incluindo este capítulo introdutório.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura com a intenção de avaliar o estado da arte dos grandes tópicos que servem como fundação deste projeto, nomeadamente a indústria 4.0 e os conceitos de digitalização do chão de fábrica bem como a gestão da mudança.

No terceiro capítulo, é efetuado um levantamento da situação inicial da empresa cliente, principalmente o seu estado de maturidade tecnológica e os problemas encontrados. Expõem-se os dados inicialmente recolhidos e a sua devida análise. Estes dados servirão de base para os próximos capítulos.

O Capítulo 4, Descrição da Solução *TO-BE*, envolve a validação dos dados adquiridos e o desenho e execução da solução pensada, após identificados os problemas e da personalização da solução para as áreas problemáticas e oportunidades de melhoria identificadas.

Por fim, o Capítulo 5 dá lugar a uma discussão dos resultados obtidos e conclusão, com as perspetivas futuras de evolução e melhoria para este projeto.

2 Revisão da Literatura

Este capítulo foi estruturado com o intuito de fornecer uma visão ampla dos tópicos fundamentais abordados na dissertação, começando com conceitos mais abrangentes como Indústria 4.0, *Internet das Coisas* (IoT), e, estudando a forma como as tecnologias de *Big Data* e *Cloud Computing* possibilitam o desenvolvimento deste paradigma. Progressivamente, o núcleo de análise foca-se no conceito de digitalização do chão de fábrica. Neste processo, os conceitos de conectividade, visibilidade e transparência são salientados, sempre com o constante foco na noção de Gestão de Mudança ao longo do projeto.

2.1 Indústria 4.0

Desde a Primeira Revolução Industrial, o grande impulsionador da produtividade industrial tem sido a evolução das tecnologias subjacentes aos processos produtivos (Rüßmann et al., 2015). O primeiro grande marco na história da indústria é a Primeira Revolução Industrial, introduzida com a invenção das máquinas a vapor no final do século XVIII. O princípio do seu funcionamento reside na conversão da energia interna do vapor de água em energia mecânica. Esta invenção permitiu o tão importante desenvolvimento de maquinismos que substituíram a mão de obra humana, aumentando, desta forma, a produtividade fabril. Por sua vez, a segunda grande evolução foi a Segunda Revolução Industrial, que viu a eletricidade a ser usada no contexto industrial, o que, por sua vez, possibilitou a criação da linha de produção, em 1870. Este foi o momento a partir do qual a fábrica cujo estado conhecemos atualmente começou a ganhar forma e a desenvolver-se, dado o ponto de automação da produção que tinha sido atingido (Marr, 2018). A Terceira Revolução Industrial, também denominada de “Revolução Digital”, corresponde ao uso da eletrónica e tecnologia da informação para digitalizar o processo de produção (Kagermann et al., 2013). Efetivamente, a introdução do computador no ambiente fabril possibilitou a digitalização da indústria e a produção customizada (Greenwood, 1997). Atualmente, o mundo vive a quarta revolução industrial, que decorre do conceito de IoT para permitir que máquinas e sistemas comuniquem entre si, minimizando a necessidade de intervenção humana.

O termo “Indústria 4.0” foi introduzido pelo governo federal alemão, através de uma parceria com universidades e empresas privadas (Frank et al., 2019). Este conceito tem, no seu núcleo, a produção inteligente como elemento central (Kagermann et al., 2013), recorrendo à adoção de tecnologias digitais, nomeadamente IoT, para coletar dados em tempo real e analisá-los, fornecendo informação útil ao ecossistema envolvido na produção e dando lugar à dimensão ciber-física por detrás desta revolução industrial (Wang et al., 2016). É difícil chegar a uma definição única ou consensual do conceito, devido ao seu alcance, mas é de salientar que o conceito de CPS é um dos conceitos básicos subjacente a todas as definições da indústria 4.0 (Hermann et al., 2016), sendo, por isso, analisado com mais detalhe na secção 2.2.

As fundações da Indústria 4.0 assentam em nove pilares tecnológicos elementares essenciais: (1) *Big Data*; (2) Realidade Aumentada; (3) Simulação; (4) Cibersegurança; (5) Robôs Autónomos; (6) *Cloud Computing*; (7) *Internet* das Coisas Industrial; (8) Produção Aditiva e (9) Integração Horizontal e Vertical dos Sistemas (Rüßmann et al., 2015).

De forma a compreender esta nova revolução industrial e o “tipo” de indústria que se pretende construir, é necessário abordar a ideia que a precedeu – *Internet of Things*. Este conceito pode ser analisado através de 2 perspetivas distintas: ponto de vista da conexão (*Internet*) e do ponto de vista dos objetos que são conectados (*Things*) (Atzori et al., 2010).

A ideia da *internet*, que se refere à interligação entre várias redes conectadas entre si, existe há décadas. A ampliação desde conceito para todas as “coisas” é precisamente o facto chave que leva a esta nova revolução, na perspetiva da conexão. Este salto apenas é permitido pelo desenvolvimento, crescimento e generalização de tecnologias como ethernet, Wi-Fi, bluetooth e 3G/4G/5G, que possibilitam uma melhor e mais rápida comunicação entre objetos, servidores e plataformas de informação (Gilchrist, 2016). No caso de fábricas inteligentes, as máquinas não só podem comunicar com sistemas de monitorização e supervisão, mas também podem comunicar entre si e até mesmo com os produtos na fábrica, através da leitura e transmissão de informação acerca do seu estado atual, utilizando etiquetas RFID ou códigos QR para o efeito (Gubbi et al., 2013).

Adicionalmente, Amer et al. (2009) enuncia três categorias para aplicações IoT na indústria, nomeadamente para (1) monitorização e controlo; (2) *Big Data* e analítica empresarial; e (3) partilha de informação e colaboração. A IoT pode desbloquear potencial até agora não explorado nestas áreas, acrescentando valor para a indústria, nomeadamente na área da monitorização e controlo, que, por exemplo, pode reduzir tempo de paragem, manutenção e setups e aumentar a performance da máquina e do operador ao permitir a identificação de ineficiências, qualquer que seja a sua natureza (Amer et al., 2009).

De forma a estabelecer a digitalização do chão de fábrica como o primeiro passo em direção ao paradigma da indústria 4.0, esta dissertação está principalmente focada na questão de *Big Data* e *Cloud Computing* como ferramentas para adquirir dados sobre a produção e monitorizá-los, de maneira que são abordados nesta subsecção. Os temas de partilha de informação entre setores e colaboração no âmbito da melhoria contínua também são abordados posteriormente, na solução apresentada na presente dissertação.

Qualquer avanço tecnológico traz consigo vantagens, mas também algumas reservas e limitações que devem ser consideradas e exploradas. A introdução deste paradigma levanta um problema relacionado o armazenamento e segurança dos dados (Kingsbury, 2020). A enorme quantidade de dados gerados e recolhidos implica que estes sejam corretamente armazenados, assegurando a sua facilidade de acesso e processamento. Para além disso, a segurança dos sistemas e dos dados é uma preocupação crítica da indústria 4.0. Ao proceder à integração virtual dos processos e dos sistemas, fazendo com que estes comuniquem numa rede, surge a possibilidade de fugas de dados e quebras de segurança. Contudo, a segurança não está apenas circunscrita a ataques cibernéticos. É necessário, igualmente, acautelar a política de tratamento e privacidade dos dados coletados, levantando aspetos éticos, sociais e legais. As ameaças de má configuração e falhas da tecnologia operacional (OT) - definida como o *hardware* ou *software* que deteta ou causa uma mudança num equipamento, processo ou evento (Gartner, 2022b) - podem, potencialmente, interromper a atividade produtiva e as operações da empresa. (BDO Digital, 2021). Adicionalmente, uma das barreiras que as empresas podem sentir no processo de transição prende-se com a falta de mão de obra com as competências necessárias no mercado de trabalho. É difícil encontrar, treinar e formar trabalhadores, particularmente nas áreas relacionadas com a interface do utilizador, *data science* e desenvolvimento de *software* (Kingsbury, 2020).

No que diz respeito à adoção deste paradigma, o panorama atual apresenta vários ritmos de investimento e graus de abertura a este tipo de iniciativas. A dimensão de uma empresa é um fator predominante no que toca a adoção destas tecnologias, e até mesmo na exploração de novas oportunidades no âmbito desta revolução industrial (Yen et al., 2014). Uma pequena ou média empresa encontra-se numa posição de desvantagem quando comparada com a possibilidade de investimento de uma empresa de maior tamanho.

Para esse efeito, Wellener et al. (2019) propõem a classificação das empresas em três grupos distintos no que diz respeito à sua transição para a indústria 4.0: pioneiros, exploradores e seguidores. Esta agrupação foi efetuada com base no estudo destes autores de várias empresas de referência, atuais e relevantes para o setor global da indústria.

O grupo dos pioneiros é o grupo mais pequeno, composto maioritariamente por grandes empresas, com pelo menos 500 trabalhadores. Este facto deve-se à disponibilidade financeira que estas empresas revelam face a pequenas ou médias empresas, com menor orçamento para este tipo de iniciativas. Como tal, em média, de acordo com os dados publicados por Wellener et al. (2019), as empresas de maior tamanho alocam cerca de 65% do seu orçamento dedicado à melhoria do chão de fábrica a projetos de fábrica inteligente. Desta forma, também são as organizações pioneiras que vão beneficiar mais destes projetos, com uma estimativa de incremento da utilização de capacidade e produtividade de cerca de 20%.

Por outro lado, o grupo dos seguidores é aquele com o maior número de empresas. Em comparação com o grupo dos pioneiros, o incremento na produtividade ronda os 8% (Wellener et al., 2019). A estratégia que os autores Frank et al. (2019) recomendam para este grupo passa por imitar os passos traçados pelos pioneiros e replicar as suas iniciativas bem sucedidas. O recurso a projetos-piloto e provas de conceito podem ser úteis para estes.

2.1.1 *Big Data*

Dispositivos IoT e máquinas com sensores integrados e atuadores geram uma quantidade de dados colossal e transmitem estes mesmos dados para ferramentas de negócio e analítica empresarial usadas para auxiliar a tomada de decisão (Lee & Lee, 2015).

O conceito de *Big Data* refere-se a *datasets* cujo tamanho está para além da capacidade típica de ferramentas de *dataset software* para recolher, guardar, gerir e examinar tais dados (Manyika et al., 2011). Esta definição é propositadamente subjetiva e integra uma definição móvel de quão grande um *dataset* precisa de ser para que seja integrado no conceito de *Big Data*, isto é, não existe um *benchmark* segundo o qual o *dataset* deve ocupar um espaço de armazenamento superior a um certo número de terabytes. Como tal, Manyika et al. (2011) assumem que, à medida que a tecnologia vai evoluindo ao longo do tempo, também o tamanho dos dados que se podem qualificar com “*Big Data*” vai aumentando. Para além disso, os *datasets* podem variar de setor para setor, dependendo do tipo de *software* que está disponível bem como do tamanho dos dados que é comum numa particular indústria. Posto isto, atualmente é possível afirmar que em grande parte dos setores industriais, *Big Data datasets* podem variar entre dezenas de terabytes até múltiplos petabytes (Manyika et al., 2011).

De acordo com Manyika et al. (2011), *Big Data* possibilita a criação de valor de cinco maneiras distintas: (1) criação de transparência, simplesmente fazendo com que os dados sejam acessíveis mais facilmente e rapidamente; (2) proporcionando experimentação para descobrir necessidades, expor variabilidade e melhorar a performance; (3) segmentar populações e alvos de forma a customizar planos de ação; (4) substituir e apoiar o processo de decisão humana com algoritmos automatizados e (5) inovar com novos modelos de negócios, produtos e serviços.

Contudo, não obstante o potencial anteriormente descrito, a gestão de grandes volumes de dados inevitavelmente acarreta desafios e limitações. A primeira reserva prende-se com o conjunto de políticas de tratamento de dados, nomeadamente acerca de tópicos como a privacidade, segurança dos dados, propriedade intelectual e a responsabilidade de gerir tais dados, sendo natural que o incremento em investimento e atenção nesta área se traduza num aumento de questões legais que podem limitar o uso destes mesmos dados (Buyya et al., 2016). A segunda limitação está ligada à temática das tecnologias necessárias para este âmbito, particularmente tecnologias que consigam captar os dados, armazená-los, fazer uma gestão eficiente e assegurar a sua escalabilidade para o futuro (Atobishi et al., 2018). Outras limitações estão relacionadas com a dificuldade que informações provenientes de fontes distintas apresentam bem como a mudança de talento que deve ter lugar nas organizações para que haja um aproveitamento eficaz das novas tecnologias que vão surgindo (Manyika et al., 2011).

No final do dia, *Big Data* está a tornar-se um fator determinante na competitividade industrial e crescimento, com Manyika et al. (2011) a estimarem que um revendedor que adote práticas de *Big Data* tenha o potencial de aumentar a sua margem de operação em mais de 60%.

2.1.2 Cloud Computing

Cloud Computing é um paradigma que proporciona acesso simples, imediato e ubíquo a uma variedade de meios computacionais personalizáveis e partilháveis (por exemplo, redes, servidores, aplicações e serviços) que podem ser rapidamente providenciados e lançados com o mínimo de esforço ou interação com o fornecedor de tal serviço (Mell & Grance, 2011). De acordo com Yen et al. (2014), *cloud computing* permite uma partilha centralizada de recursos IT bem como uma expansão flexível de recursos de computação.

Cloud computing é considerado por Atobishi et al. (2018) como uma mudança no paradigma da indústria das tecnologias da informação, denominado como um quinto serviço utilitário, contratado como qualquer consumidor contrata serviços de eletricidade ou água. Não é apenas um conceito técnico, mas é também uma área de negócio que vende serviços de IT. Esta área de negócios começou com o lançamento dos *Amazon Web Services*, disponibilizando a possibilidade de armazenamento remoto na *cloud* num modelo de negócios em que os consumidores pagam apenas o tráfego e armazenamento que efetivamente utilizam (Gilchrist, 2016).

Os serviços oferecidos pelos fornecedores de *cloud computing* podem ser diferenciados em três categorias, descritas de seguida (Mell & Grance, 2011) e apresentadas esquematicamente na Figura 2.1 (Pandey & Kavita, 2014):

- *Software as a Service* (SaaS): a ferramenta fornecida ao cliente tem como objetivo usar as aplicações do fornecedor a correr numa infraestrutura na *cloud*. As aplicações são acessíveis através de várias interfaces, como um navegador de *internet*. O cliente não gere ou controla a infraestrutura da *cloud* por detrás do serviço.
- *Platform as a Service* (PaaS): o serviço fornecido ao cliente engloba o acesso a uma plataforma à medida das suas necessidades, desenvolvendo e correndo a sua própria aplicação *web* na plataforma. O consumidor não gere ou controla a infraestrutura da *cloud* por detrás do serviço, incluindo a rede, servidores, sistemas operativos ou armazenamento.
- *Infrastructure as a Service* (IaaS): neste tipo de serviço, a infraestrutura está na *cloud* e é gerida na mesma. O cliente controla a aplicação que quer desenvolver e correr, bem como a segurança e integração da estrutura e as bases de dados.

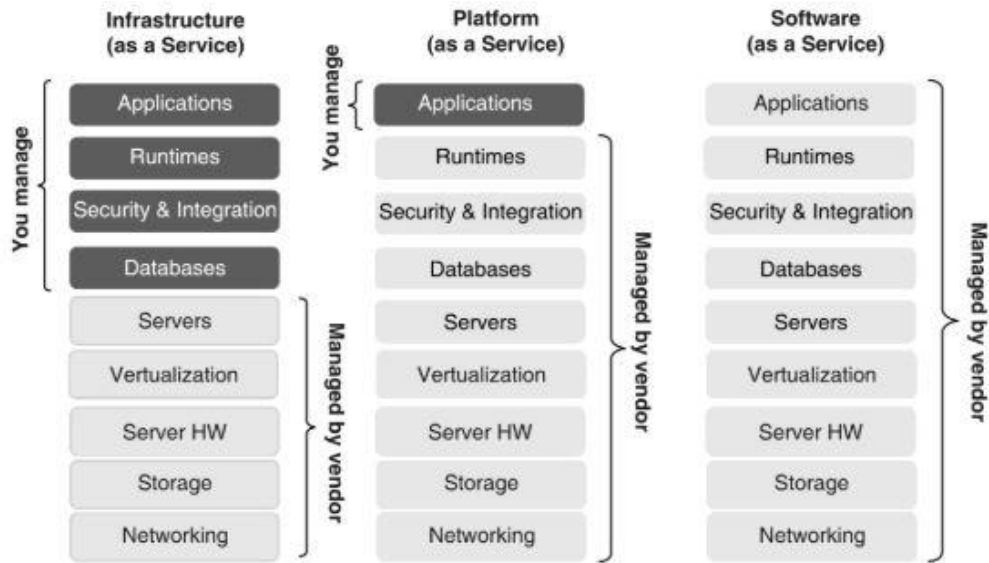


Figura 2.1 – Categorias de Serviços de *Cloud Computing*. Fonte: Pandey and Kavita (2014)

2.2 Sistemas Ciber-Físicos (CPS)

O termo sistema ciber-físico (CPS) refere-se a sistemas de elementos computacionais colaborativos que controlam entidades físicas, geralmente usando o feedback dos sensores que estes sistemas monitorizam (Lee et al., 2015). Como tal, segundo Monostori (2014), estes sistemas podem ser caracterizados como sistemas em que entidades virtuais (computadores) estão constantemente conectadas com o ambiente físico, recebendo, processando e emitindo informação. Este conceito traduz-se num “casamento” entre os mundos físico e virtual, usando sensores para enviar dados ao sistema virtual, que, por sua vez, os processa e determina a melhor forma de proceder. Evidentemente, o valor real da IoT para a indústria pode ser destilado aos dados que são gerados pelos sistemas ciber-físicos das máquinas (Bagheri & Lee, 2015).

2.2.1 CPS na Indústria

Há vários modelos definidos para a implementação de CPSs na indústria.

Começando com o modelo/arquitetura ISA-95, definido como o *standard* internacional, definido pela Sociedade Internacional de Automação, para a integração de sistemas de controlo e empresas (Moones et al., 2015), o seu objetivo é a aplicação em qualquer tipo de indústria e de processo, sendo um *standard* global. Consiste em modelos e terminologias que podem ser usadas para determinar a informação que deve ser trocada entre sistemas para vendas, finanças, logística, produção, manutenção e qualidade, facilitando a comunicação entre fornecedores e produtores (Lachance, 2021).

A sua implementação pode-se caracterizar em 5 níveis (de 0 a 4) (Jiang, 2018), estruturados de acordo com a Figura 2.2:

- **Nível 0:** relacionado com o processo de produção físico. Os sinais das máquinas são recolhidos com ajuda de dispositivos, nomeadamente através de sensores;
- **Nível 1:** diz respeito ao uso de *Programmable Logic Controllers* (PLC) e os respetivos sensores para a manipulação dos dados recolhidos;
- **Nível 2:** refere-se ao controlo da produção, e à sua monitorização e supervisão, com algum grau de automação (sistemas como HMI e SCADA);
- **Nível 3:** refere-se à gestão de operações, incluindo criar horários de produção, controlar o fluxo de produção através das ordens de fabrico e otimizar todo o processo. Este nível é caracterizado pela presença de sistemas MES;
- **Nível 4:** interliga a produção com as restantes áreas da empresa, como a logística, distribuição e entrega e controlo de inventário, com a interligação com sistemas ERP.

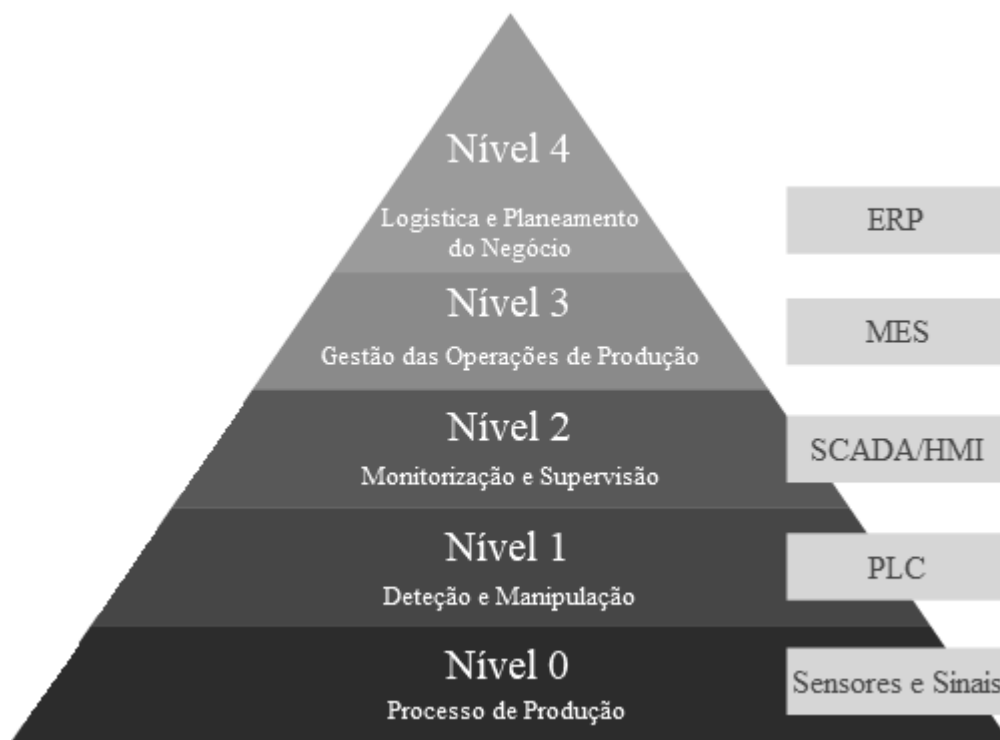


Figura 2.2 – Estrutura do *standard* ISA-95. Fonte: Lachance (2021)

Há outros tipos de arquiteturas para além deste *standard*, dos quais é de salientar a arquitetura 5C. A estrutura 5C, representada na Figura 2.3 (Bagheri & Lee, 2015), pode ser aplicada a vários níveis de uma organização industrial, incluindo componentes, máquinas, frotas e a própria empresa (Chen, 2010). Cada nível usa diferentes tipologias de análise e dados analíticos para extrair informação útil de dados não tratados e conhecimento geral pertinente acerca do sistema. A visualização desta arquitetura toma a forma de uma pirâmide que representa o modo como os dados que passam para os níveis mais altos da hierarquia sofrem uma redução em tamanho enquanto o valor da informação aumenta (Bughin et al., 2015).

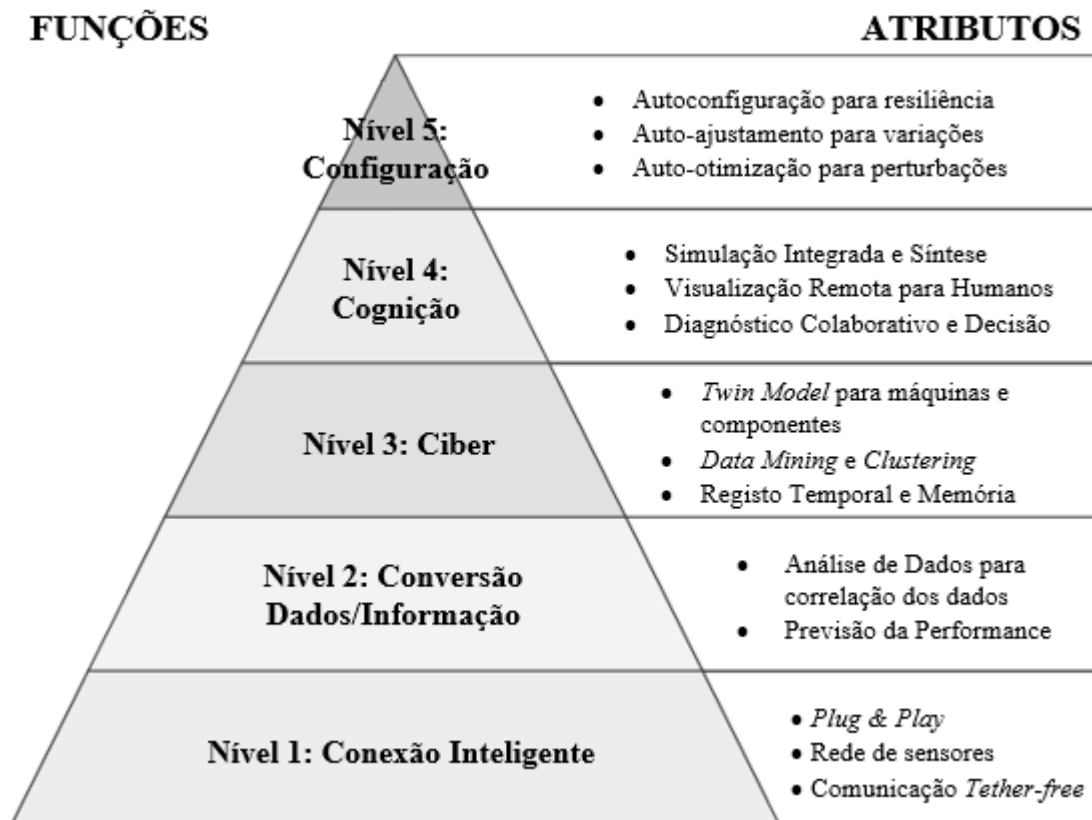


Figura 2.3 – Estrutura da arquitetura 5C para CPS. Fonte: Vogel-Heuser et al. (2015)

Os níveis são os seguintes:

1. **Conexão:** os dados gerados pelas máquinas conectadas, ferramentas e produtos são recolhidos com o objetivo de os enviar para os próximos níveis de maneira uniforme e integrada. A escolha de sensores e/ou sinais apropriados é crítica.
2. **Conversão:** este nível tem como tarefa converter os dados em informação útil, utilizando algoritmos baseados na aplicação em questão para aumentar a eficiência.
3. **Ciber:** o nível ciber recebe informação processada do nível anterior e usa-a para criar valor acrescentado. Este nível funciona como uma plataforma para preparação da informação armazenada para análise, executando análises complexas.
4. **Cognição:** este nível pode transformar sinais de máquinas em informação que o utilizador facilmente consegue visualizar e interpretar para auxiliar o processo de decisão humana.
5. **Configuração:** este nível foca-se na capacidade da própria máquina de tomar decisões e adaptar-se de acordo com a informação que recebe em tempo real.

2.2.2 CPS vs. IoT

As similaridades no uso de *networking*, *internet* e sensores nas definições de IoT bem como de CPS podem levar a dúvidas acerca da diferença entre os dois conceitos. Contudo, embora haja semelhanças, um CPS não é a mesma coisa que IoT (Yang et al., 2015).

De acordo com Vijayaraghavan et al. (2008), a IoT é baseada em conexões entre recursos físicos através dos quais informação é transferida. Estas conexões são possibilitadas pela implementação segura de redes de computadores, *internet* e protocolos de comunicação. Esta comunicação é baseada em protocolos de internet normais ou dedicados.

Todavia, apesar da conectividade, o paradigma de IoT não inclui a ideia de sistemas de informação ou analítica de dados. Por outro lado, os CPS são baseados em conectividade, mas correm algoritmos de análise complexos. Inferência complexa num CPS toma lugar através de um *hub* central analítico onde o conhecimento é extraído de *raw data* (Lee et al., 2015).

Em suma, é possível afirmar que se pode considerar a IoT como a infraestrutura que torna os CPS possíveis (Bagheri & Lee, 2015).

2.3 Digitalização do Chão de Fábrica

O primeiro passo, comum a todas as arquiteturas estudadas, na implementação de uma infraestrutura de indústria 4.0 passa pela digitalização do chão de fábrica.

No âmbito desta dissertação, dedicada à digitalização do chão de fábrica, o foco estará nas fases da conectividade, visibilidade e transparência, propostas por Joppen et al. (2019). Estas etapas serão apresentadas ao longo desta secção, no âmbito das fases de desenvolvimento da indústria 4.0, representadas na Figura 2.4. A informatização e conectividade são etapas preliminares que servem de fundação para a indústria 4.0. As etapas de desenvolvimento são divididas nas fases de visibilidade, transparência, previsão e adaptabilidade. “Ver” e “Perceber” os processos é fulcral para este tópico, sendo os *Key Performance Indicators* (KPIs) um instrumento de controlo de importância central (Buer et al., 2021).

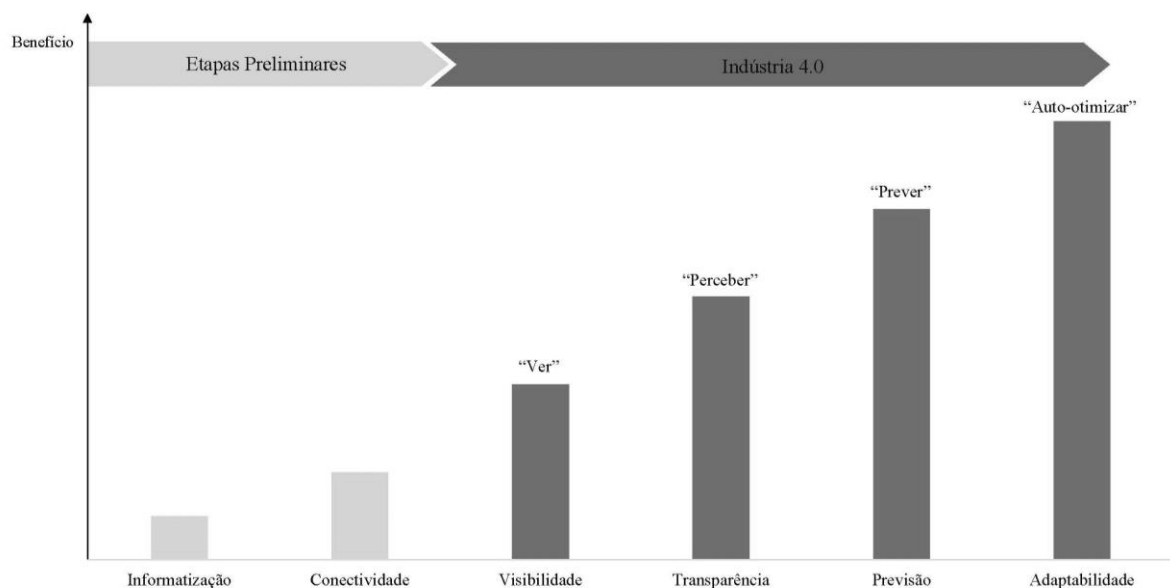


Figura 2.4 – Fases de Desenvolvimento da Indústria 4.0. Fonte: Joppen et al. (2019)

2.3.1 Conectividade

A indústria 4.0 e os sistemas ciber-físicos industriais forjam o núcleo das infraestruturas industriais que têm uma representação virtual através da digitalização de dados e informação. Como tal, a qualidade e a performance competitiva de uma solução de indústria 4.0 depende, entre vários fatores, da capacidade de facilitar a conectividade vertical OT/IT (Tecnologia Operacional/Tecnologia de Informação), bem como da conectividade horizontal OT/OT e IT/IT entre componentes e sistemas implementados na empresa (Wermann et al., 2019).

Enquanto que a digitalização do chão de fábrica não é um fenómeno novo, o grau de conectividade da organização e a inevitável complexidade associada a este fenómeno aumentaram. Frequentemente, estas mudanças não são facilmente visíveis no espaço de trabalho. Contudo, o que nos diz a literatura é que cada vez mais, os dados estão a convergir em segundo plano, nos bastidores, podendo ser obtidos em detalhe nos *workflows* e avaliados em tempo real por todos os níveis de gestão (Warnhoff & Lareir, 2019).

A digitalização do chão de fábrica passa por ligar os sistemas informáticos e transformar dados em informação. Embora atributos e requisitos específicos possam variar entre fábricas, organizações ou processos, há um fio comum: conectividade. Consultar máquinas conectadas leva a dados em tempo real acerca da sua condição e disponibilidade (Finch, 2019). Este fio comum levanta algumas dúvidas, sendo o “uso e entendimento de tecnologia sensorial” descrito por Mogos et al. (2019) como um dos fatores mais relevantes para a digitalização do chão de fábrica. Dada a grande variedade de sensores e atuadores, protocolos de comunicação, computadores e dispositivos por detrás da aquisição de dados, esta é uma área de melhoria e peculiar atenção para várias organizações.

As redes industriais são componentes cruciais para a aquisição de dados, especialmente tendo em consideração a ubiquidade de dispositivos integrados na rede no paradigma de IoT industrial (Bradley et al., 2013). Estas redes são divididas em vários níveis, como é especificado no *standard* ISA-95, que comunicam entre si através de diferentes protocolos. Cada nível tem os seus objetivos e especificidades.

Há uma panóplia de tipos de tecnologias úteis para diferentes necessidades de aquisição de dados e monitorização no ambiente industrial. O primeiro nível de conectividade é o mais básico, sendo que as tecnologias mais comumente usadas são sensores e atuadores, códigos QR e de barras, RFID, GPS, computadores e interfaces humano-máquina como botões e *tablets*, entre outros (Castro-Martin et al., 2021; Khemapech et al., 2005).

O nível superior nas redes sensoriais é composto, particularmente, por PLCs, microcontroladores, os drivers dos sensores/atuadores do nível anterior e computadores dedicados à aquisição de dados. Este nível comunica com o antecedente através de protocolos bastante acessíveis e reconhecidos quer por profissionais, quer por não profissionais, tais como Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth e Sinais Digitais/Analógicos, entre outros.

Os dois primeiros níveis são caracterizados por terem redes com um elevado número de equipamentos cuja complexidade é reduzida. Estes comunicam com os níveis superiores através de mensagens curtas, com grande frequência, permitindo a aquisição de dados em tempo real. Acima destes níveis, situam-se níveis que são caracterizados por terem menos equipamentos conectados, mas mais complexos. São exemplos os computadores, *embedded systems* e *routers*, que, ao receberem os sinais frequentes das camadas inferiores, vão transmiti-los, através da *internet*, para as bases de dados, possibilitando a existência de *mainframes*, máquinas virtuais e o MES, até chegar às mãos do utilizador.

2.3.2 Visibilidade

Esta etapa no *framework* de adaptação à indústria 4.0 vê o seu valor assentar num pilar fundamental: a importância de visualizar a informação que foi obtida através dos dados. Recolher dados e extrair informação por si próprio não acrescenta valor algum ao processo industrial. Este é um erro cometido muitas vezes por empresas quando não têm estabelecidos os seus objetivos claramente. Deste modo, é preciso visualizar a informação para resolver ineficiências, reduzir custos e melhorar a produtividade.

De acordo com Jennings (2019), independentemente da maturidade tecnológica de uma organização no seu caminho em direção à indústria 4.0, a chave para identificar problemas e melhorar a eficiência é maior visibilidade. Aumentar a visibilidade em todos os aspetos do processo de produção permite que os produtores:

- reduzam o tempo de ciclo (incrementar a produtividade, linhas de produção mais curtas, menos trabalhadores);
- reduzam o inventário *work in progress* (WIP);
- minimizem o trabalho sem valor agregado;
- ganhem conhecimento detalhado, correlacionando informação operacional com interações com os processos em tempo real.

Deste modo, esta secção foca-se em dois aspetos relevantes para a visibilidade: o MES e a sua integração com outros sistemas implementados na empresa e os KPIs.

Um *Manufacturing Execution System* (MES) é um software dinâmico e abrangente que gere, monitoriza, localiza, documenta e controla o processo de produção em tempo real desde o estado de matéria-prima até ao produto final (Blanc et al., 2008). O MES funciona como uma camada prática que estabelece ligação entre o *Enterprise Resource Planning* (ERP) e sistemas de controlo de processos. Como tal, o MES oferece aos gestores a informação que estes precisam para incrementar a eficiência do chão de fábrica e otimizar produção (SAP, 2022). Ao longo da sua evolução, estes sistemas começaram a migrar para aplicações baseadas na *web*, tornando-se mais modulares e oferecidas como um *software as a service* (SaaS). Isto permitiu uma maior customização de acordo com as lacunas de cada organização, e introduziu a hipótese de expandir a abrangência dos MES de acordo com as necessidades futuras dos clientes, dando-se a introdução de novos tipos de plataformas como plataformas IoT.

O MES coordena a execução de ordens de fabrico com o planeamento de produção e ERPs e *product lifecycle management* (PLM), fornecendo *feedback* acerca da performance do processo de produção e suportando o rastreio de componentes e materiais e integração com o histórico do processo. Estas capacidades estendem-se das capacidades de PLMs e ERPs através da realização do processo de produção (Gartner, 2022a).

• Integração ERP/MES

Atualmente, a interoperabilidade empresarial, particularmente entre sistemas de informação, é considerada um fator chave para uma colaboração bem-sucedida, sendo identificada como uma necessidade crítica que deve ser acautelada ao longo do ciclo de vida de um produto (Moones et al., 2015). Num inquérito realizado a empresas do ramo automóvel, levado a cabo por Berić et al. (2018), 97% dos inquiridos usava um sistema ERP, enquanto que 70% dos mesmos afirmaram usar um sistema MES. Uma das conclusões principais do inquérito realizado foi que os entrevistados admitiram que, atualmente, não há boas *guidelines* ou guias práticos de implementação e integração de sistemas ERP e MES no paradigma da indústria 4.0 e IoT nas organizações em que trabalham, sendo que este aspeto, do seu ponto de vista, influencia significativamente a qualidade da monitorização do ciclo de vida dos produtos em tempo real, a possibilidade de informar os trabalhadores a tempo, bem como a capacidade de resposta da empresa a mudanças abruptas na cadeia produtiva e de qualidade contínua. Ao fornecer informação em tempo real, ambos os sistemas participam ativamente no processo de tomada de decisão interno já que têm o controlo simultâneo sobre os elementos do processo de produção.

A integração entre estes sistemas consiste numa troca direta de dados relevantes para as funções de cada sistema. Tradicionalmente, o ERP pode partilhar ordens de produção para o

MES, bem como instruções de fabrico e embalagem. Por sua vez, o MES pode transferir informação para o ERP sobre a sua produção, desde KPIs até peças rejeitadas e a taxa de desperdício (Berić et al., 2018). De acordo com o estado da arte da implementação de CPS na indústria, é possível aplicar o *standard* ISA-95 como um modelo de troca de informação que aborda o tópico da interoperabilidade entre sistemas IT empresariais, como MES e ERP (Moones et al., 2015).

As vantagens da integração destes sistemas são sentidas por uma grande maioria das empresas que apostam nesta vertente. As melhorias são sentidas maioritariamente nos seguintes segmentos: planeamento de produção e monitorização; planeamento e treino de recursos humanos; qualidade dos produtos e dos processos produtivos; manutenção de equipamentos e análise de performance e KPIs (Berić et al., 2018).

- ***Key Performance Indicators***

Atualmente, fazer mudanças e transformar potenciais tangíveis em detalhe é difícil. O controlo de produção assume um papel central no planeamento de produção, sendo a tarefa de controlar entendida como comparar e interpretar determinada informação. No que diz respeito ao controlo de produção, há uma multitude de indicadores e sistemas chave, conhecidos como *Key Performance Indicators* (KPIs) (Joppen et al., 2019). O estado e performance da produção são registados e processados na forma de KPIs. Estes são um meio de garantir que a informação é preparada corretamente, em tempo real, de forma tão abrangente quanto possível, mas num formato claro de interpretar. O perigo de desinformação e perda de informação, más interpretações ou até mesmo pouca significância de KPIs individuais pode ser contrabalançado através da combinação de KPIs chave para formar um sistema chave. KPIs são números que refletem um processo na organização de uma forma compacta e que, como ferramenta de gestão, potenciam uma rápida análise do processo. Os KPIs mais conhecidos incluem, principalmente, o grau de automação, rendimento/produktividade e taxa de desperdício (Rüßmann et al., 2015).

Neste âmbito, existe já um sistema chave mais significativo e abrangente, constituído por KPIs menos significativos, o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). O OEE é o *gold standard* no que diz respeito à medição da produtividade industrial (Vorne, 2021).

O OEE é construído por três componentes – disponibilidade (D), performance (P) e qualidade (Q), através da seguinte fórmula:

$$OEE = D \times P \times Q$$

Onde:

$$D = \frac{\text{Tempo Operacional}}{\text{Tempo de Produção Planeado}}$$

$$P = \frac{\text{Quantidade Produzida}}{\text{Quantidade Teórica}}$$

$$Q = \frac{\text{Quantidade Total Produzida} - \text{Quantidade Rejeitada}}{\text{Quantidade Total Produzida}}$$

A Tabela 2.1 apresenta um esquema dos componentes do OEE e das suas parcelas em termos temporais.

Tabela 2.1 – Parâmetros do OEE

Tempo Total		
Tempo de Produção Planeado		Paragens Planeadas
Tempo Operacional		Paragens Não-Planeadas
Tempo Operacional Líquido	Perdas de velocidade	
Tempo Produção Líquido	Perdas por Defeitos	

A Tabela 2.2 categoriza as chamadas *Six Big Losses* e como estas são contabilizadas para o cálculo do OEE.

Tabela 2.2 – Categorização de Perdas no OEE. Fonte: Elevli and Elevli (2010)

Categoria <i>Six Big Losses</i>	Categoria de Perda no OEE	Fator do OEE
Falha de Equipamento	Paragens Não-Planeadas	Disponibilidade (D)
<i>Setup</i> e Ajuste	Paragens Planeadas	
Paragens e pequenas pausas	Pequenas Paragens	Performance (P)
Velocidade Reduzida	Ciclos Lentos	
<i>Yield</i> Reduzido	Rejeições de Arranque	Qualidade (Q)
Defeitos de Qualidade	Rejeições de Produção	

O próximo passo, depois da estimação do OEE, é compará-lo com valores de benchmark. De acordo com Elevli and Elevli (2010), valores de OEE aceitáveis rondam os 85%. Se o OEE estiver abaixo deste valor, os processos devem ser reavaliados e melhorados. É aparente que um cálculo do OEE bem-sucedido depende da capacidade de recolher dados que sejam fidedignos e adequados. Caso não o sejam, a estimativa não vai refletir a utilização real do equipamento, configurando-se como uma das limitações deste KPI (Ron & Rooda, 2005).

2.3.3 Transparência

A etapa da transparência materializa a relevância de perceber os processos de produção para que seja possível derivar valor da informação obtida e exposta através das etapas de conectividade e visibilidade.

Como tal, o tema da melhoria contínua será salientado ao longo desta secção, permitindo que os dados e KPIs sejam usados pelos gestores que tomam decisões para melhorar o chão

de fábrica. A melhoria contínua, no âmbito da fábrica inteligente, surge como um método de agir sobre a informação que obtemos previamente. Sem este passo, não faz sentido recolher informação.

A este respeito, a melhoria contínua é um componente chave de *lean manufacturing*, genericamente definido como uma cultura de melhoria sustentada com o objetivo de reduzir/eliminar o desperdício em todos os sistemas e processos de uma organização (Peças et al., 2021). Este conceito está bastante enraizado e presente na cultura organizacional há décadas. Atualmente, a nova revolução industrial 4.0 está a ter lugar nos mercados de serviços e produção, permitindo que as atividades se tornem mais automatizadas e inteligentes. Há mais dados, informação e indicadores que as iniciativas de melhoria podem explorar (Margherita & Braccini, 2020). Como tal, impõe-se uma adaptação dos métodos de melhoria a esta nova realidade, de forma a garantir a flexibilidade e a performance da produção. De facto, Ströhle et al. (2017) afirmam que as empresas que combinam esforços de *lean* com a indústria 4.0 podem reduzir custos até 40% dentro de 5 a 10 anos.

Esta secção expõe duas ferramentas de melhoria contínua relevantes para esta dissertação: o ciclo PDCA e a metodologia 5S.

O ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) é conhecido como um modelo de melhoria contínua de processos, apoiando as organizações a planear uma ação, fazê-la, verificar se esta se alinha com o plano e agir sobre o que foi aprendido (Johnson, 2002).

O ciclo PDCA é composto por quatro passos para melhoria ou mudança:

1. **Plan:** reconhecer uma oportunidade e planear a mudança. O primeiro nível passa por identificar um problema e analisá-lo, tendo em conta as razões que levaram a esse problema bem como as suas consequências.
2. **Do:** testar a mudança. É importante desenvolver soluções e implementá-las.
3. **Check:** rever o teste, analisar os resultados e identificar as conclusões. O terceiro passo diz respeito à necessidade de avaliar os resultados e perceber se realmente o objetivo desejado foi alcançado.
4. **Act:** padronizar a solução e agir com base naquilo que foi aprendido no passo anterior. Se a mudança foi bem-sucedida, deve-se incorporar em mudanças gerais nos processos e cultura da organização. Se não for esse o caso, voltar a correr o ciclo com um plano diferente.

O relatório A3, desenvolvido pela Toyota, é um procedimento estruturado com o intuito de planear, seguir e transmitir melhorias. É uma página que sintetiza o objetivo, a situação atual, contexto, o plano de ação, o andamento, análise, as melhorias e os resultados da sua implementação. Deste modo, a simplicidade e o foco dos agentes envolvidos na oportunidade de melhoria e de decisão são estimulados e encorajados (Dolcemascolo, 2010). Do mesmo modo, o processo de resolução de problemas 8D (ou relatório 8D), é muitas vezes usado na indústria automóvel, o que o torna bastante relevante para esta dissertação. É um ciclo PDCA com oito passos, com um foco numa rápida reação a queixas de clientes (Bose, 2019).

Finalmente, a metodologia *lean* 5S passa pela criação e manutenção de um ambiente de trabalho organizado, limpo, com alta eficiência e alta qualidade. Como resultado da sua implementação, pretende-se uma organização eficaz do local de trabalho, eliminação de perdas relacionadas com falhas e paragens, e melhoria da qualidade e segurança do trabalho. O 5S tem o seguinte significado: (1) *Sort*; (2) *Set in order*; (3) *Shine*; (4) *Standardize*; (5) *Sustain*. Os dois primeiros passos estão relacionados com a redução de erros humanos através de ordem e simplificação. Os dois passos seguintes dizem respeito à limpeza, isto é, o objetivo de alcançar maior transparência e segurança. Por fim, o último passo é relativo à consistência em manter a cultura de melhoria contínua presente e fazer mudanças permanentes (Filip & Marascu-Klein, 2015).

2.4 Gestão da Mudança

Organizações são organismos vivos, e como tal, é-lhes exigido que estejam constantemente a adaptar-se, de forma a manter a sua posição no mercado ou caso queiram verdadeiramente crescer (Biedenbacha & Soumllderholma, 2008). A mudança é inevitável no mercado atual devido ao elevado ritmo de inovação tecnológica e crescente competição global (Appelbaum et al., 2012). Deste modo, a abertura de uma organização à mudança e a aplicar melhorias configura-se como um grande determinante do seu sucesso a curto e longo prazo. O mesmo pode ser dito de projetos individuais de mudança e do seu respetivo sucesso a curto e longo prazo. Como tal, o tópico da gestão da mudança assume uma importância peculiar num projeto de transição digital, como o trabalho apresentado na presente dissertação.

Dado que a várias pesquisas neste campo apontam para uma taxa de fracasso de iniciativas de mudança dentro de uma empresa que pode variar de 33% a valores que chegam à casa dos 80% (Fisher, 1994), são persistentes os esforços realizados no sentido de criar diretrizes eficazes que possam servir de modelo para aplicação dos conceitos de gestão de mudança. (Appelbaum et al., 2012) O modelo de oito passos desenvolvido por Kotter (1996) continua a ser uma referência neste tópico, apresentando-se como um bastante reconhecido mundialmente.

Os oito passos são:

1. Estabelecer um sentido de urgência acerca da necessidade de atingir a mudança;
2. Estabelecer uma coligação orientadora;
3. Desenvolver uma visão e estratégia;
4. Comunicar a visão para a mudança;
5. Capacitar ações abrangentes e gerais;
6. Gerar vitórias a curto-prazo;
7. Consolidar ganhos e produzir mais mudança;
8. Ancorar novas metodologias na cultura da organização.

O primeiro passo reflete a necessidade de estabelecer um sentido de urgência, já que Kotter (1996) considera que as pessoas não vão mudar se não virem a necessidade de o fazer. Efetivamente, o esforço da mudança parte e começa com indivíduos e grupos a avaliar a posição estratégica e competitiva da organização. Como tal, o sentido de urgência deve ser fomentado pelos órgãos de gestão máximos dentro de uma organização, e os líderes devem encontrar formas de comunicar esta informação dramaticamente (Kotter, 1996). Para esse efeito, podem recorrer a fontes internas ou externas. Pode ser recomendado o uso de consultores externos para desafiar o *status quo* e induzir o sentido de urgência (Armenakis et al., 1993), bem como construir-se o projeto com uma equipa interna à organização. Oakland & Tanner (2007) propõem *triggers* para a mudança, de acordo com a sua categoria: *drivers* internos, como a necessidade de melhorar a qualidade dos produtos e processos e melhorar a eficiência operacional; e *drivers* externos, como os requisitos do cliente, a competição no mercado e as regulações impostas. A conclusão alcançada permite afirmar que a mudança é instigada por fatores externos e estratégicos, já que os fatores internos foram considerados uma manifestação dos externos (Oakland & Tanner, 2007).

O segundo passo reflete a incapacidade de uma única pessoa ser capaz, de forma unilateral, de liderar e gerir o processo de mudança numa empresa (Armenakis et al., 1993). Desta feita, Kotter (1996) enumera o passo de criar uma coligação orientadora com pessoas com poder, influência e energia, que estejam dispostas a liderar a iniciativa como um passo crucial. De acordo com Kotter (1996, p.53), esta coligação deve ser composta por pessoas com poder na estrutura hierárquica da organização de forma a que aqueles que não aderirem às iniciativas não as possam bloquear; pessoas com experiência e credibilidade dentro da empresa, para que todos os pontos de vista estejam fundamentados e representados e que as

ações tomadas sejam respeitadas por todas as partes interessadas; e pessoas com capacidade de liderança que consigam guiar efetivamente o processo de mudança. Esta equipa, de acordo com o terceiro e quarto passos de Kotter, fica responsável por desenvolver uma “visão clara e adequada” e uma estratégia sensível às necessidades e limitações da organização, bem como a sua comunicação aos restantes *stakeholders*. Sem uma visão clarividente, os objetivos da mudança podem facilmente transformar-se numa lista de projetos incompatíveis e confusos que podem levar a organização a um mau porto (Kotter, 1996, p.70). A comunicação desta visão torna-se um elemento crítico do processo já que reduz incerteza (Bordia et al., 2004), diminui ambiguidade e pode até afetar o tipo de respostas positivas ou negativas à mudança organizacional (Nelissen & Selm, 2008).

O quinto passo, crítico, encoraja ações abrangentes e gerais, capacitando os trabalhadores para tentarem implementar novas ideias e abordagens. Para que tal aconteça, é da maior importância que sejam tratados quatro grandes obstáculos: estruturas da organização, competências necessárias para a implementação das mudanças propostas, os sistemas já utilizados todos os dias nos processos da empresa e, por fim, os supervisores. Kotter (1996, pp.107-9) salienta o papel fulcral que a preparação e formação tomam na capacitação dos trabalhadores, de forma a que estes desenvolvam e exibam pensamento crítico independente.

Ver as alterações a acontecer e a funcionar, bem como reconhecer o trabalho feito pelas pessoas com o intuito de alcançar os objetivos de longo prazo é crítico na perspetiva de Kotter (1996). Ganhos de curto prazo conseguem demonstrar que o esforço de mudança está a ter resultados concretos e essenciais, ajudando a remover os obstáculos à mudança nas mentes dos trabalhadores (Drtina et al., 1996), bem como servir de bússola para afinar a visão da coligação estabelecida no segundo passo e testá-la em condições reais (Ford et al., 2008). Contudo, Boga & Ensari (2009) mencionam a dificuldade de encontrar o equilíbrio certo entre ganhos de curto prazo e a perspetiva de longo prazo do processo de mudança.

Para Kotter (1996), os dois últimos passos mencionam a necessidade de criar na empresa uma cultura mais flexível que esteja habituada à mudança, com uma perspetiva orientada para o futuro e com o objetivo de evitar recuos nas mudanças implementadas e sedimentar o hábito de mudança na cultura da empresa. Isto pode ser alcançado através de sessões e workshops regulares (Ford et al., 2008).

Todavia, o modelo de Kotter (1996) apresenta algumas limitações, nomeadamente relacionadas com a sua abordagem rígida de oito passos, vista criticamente por estudos que sugerem que as organizações preferem visões de mudança mais flexíveis e adaptáveis, originárias da sua própria cultura (Burnes, 1996).

3 Análise da Situação Inicial AS-IS

Neste capítulo, é feita uma breve apresentação da realidade organizacional da empresa cliente, de forma a permitir compreender os procedimentos, processos e respetivos equipamentos utilizados no ciclo produtivo da empresa, bem como apreciar a maturidade tecnológica da empresa. Como tal, são apresentados o *layout* do chão de fábrica, bem como o processo de recolha de dados de produção, nomeadamente o registo de produção e indicadores de performance. Adicionalmente, é realizada a identificação dos problemas presentes no chão de fábrica e o reconhecimento das necessidades no que diz respeito à sua digitalização e para os quais se pretende apresentar e implementar uma solução. Note-se que a empresa possui outros setores e equipamentos não referenciados na presente dissertação uma vez que apenas são referidos aqueles que são pertinentes para o âmbito do projeto apresentado.

3.1 Apresentação da Organização do Chão de Fábrica

O chão de fábrica está dividido em vários setores que são parte integrante do *workflow* produtivo da empresa. Estes setores são enumerados e descritos de acordo com a sua designação interna. A Tabela 3.1 apresenta os códigos e nomes dos setores e o número de máquinas pertencentes a cada setor.

Tabela 3.1 – Códigos e Máquinas por setor do chão de fábrica

Setor	Código	Número de Máquinas
Corte Laser 2D	CL2D	3
Corte Laser 3D	CL3D	5
Quinagem	QUI	5
Ferramentaria (Maquinagem + Torneamento)	FER	19
Estampagem em Série (Prensas Mecânicas)	ESTS	3
Pintura	PNT	2
Soldadura Robotizada	SRB	6
Soldadura Manual MIG/MAG	SMG	7
Soldadura TIG	SLDTIG	4

Os setores fabris estão distribuídos por três pavilhões, em pisos distintos, dedicados à produção:

- **Pavilhão Cave:** contempla os processos de soldadura manual MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas*), soldadura TIG (*Tungsten Inert Gas*) e soldadura robotizada;
- **Pavilhão 1:** engloba os processos de maquinagem, pintura, corte laser 2D e 3D, torneamento e quinagem;
- **Pavilhão 2:** composto pelo processo de prensagem mecânica.

3.1.1 Pavilhão Cave

O pavilhão cave dá lugar ao setor de soldadura, que, como se pode verificar na Figura 3.1, engloba três tipos distintos de soldadura: TIG, MIG/MAG e robotizado. Enquanto que o primeiro se dedica principalmente à solda de peças de aço inoxidável e alumínio, o segundo aplica-se à solda de peças de aço de carbono. O último setor, por sua vez é simples, automático e repetitivo, com uma cadência de produção elevada e repetibilidade de produtos. A planta detalhada do Pavilhão Cave está disponível na Figura A-1 do Anexo A.

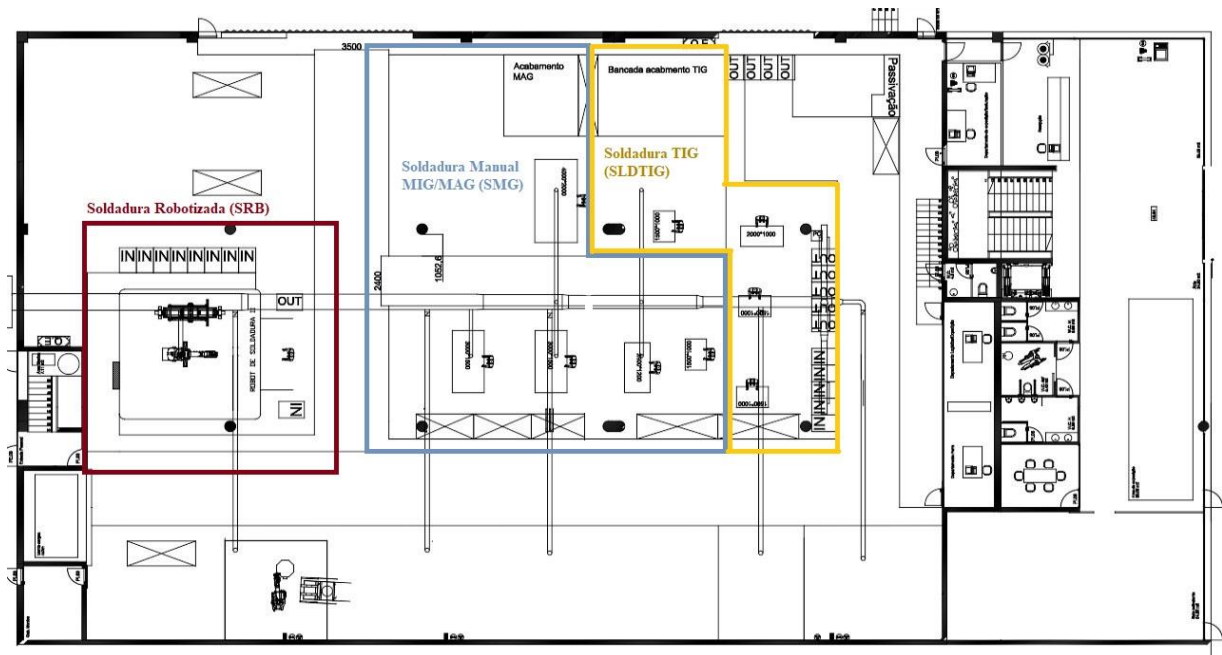


Figura 3.1 – *Layout* do Pavilhão Cave com os setores da soldadura

3.1.2 Pavilhão 1

O pavilhão 1 alberga os setores de corte laser 2D e 3D, bem como a quinagem, maquinagem, torneamento e pintura. A Figura A-2 do Anexo A e a Figura 3.2 apresentam, respetivamente, a planta e o *layout* simplificado do pavilhão 1.

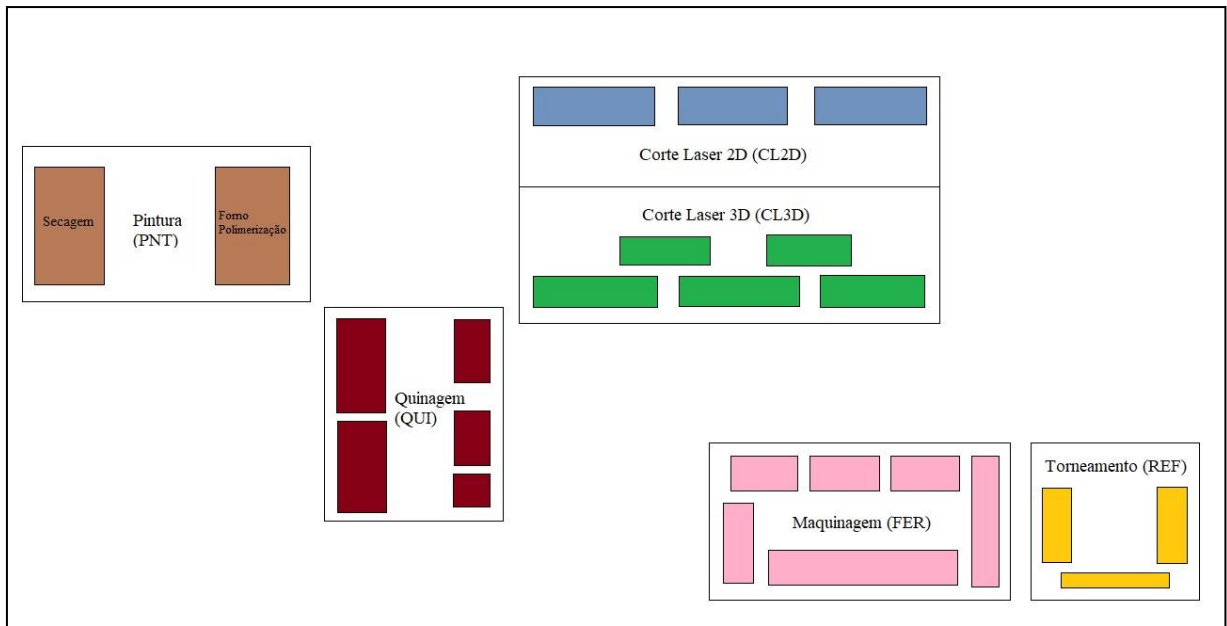


Figura 3.2 – Layout esquemático do Pavilhão 1

Os setores de corte laser 2D e 3D são constituídos, na totalidade, por 8 máquinas. Dado que o núcleo do negócio da empresa cliente é o manuseamento de *sheet metal*, estes setores são da maior importância visto que é onde têm início a maioria das ordens de produção (OPs). Evidentemente, a matéria-prima mais utilizada é a chapa metálica, maioritariamente de aço, com as mais variadas espessuras e dimensões. Numa mesma chapa podem ser encontradas peças pertencentes a Ordens de Fabrico (OFs) diferentes, as quais são separadas em paletes tendo em conta o seu setor de destino. É nestas estações que são introduzidos os conceitos de agrupamento de OFs em Ordens de Corte (OCs), que são explorados na secção seguinte (3.2).

O setor de Quinagem é constituído por 5 máquinas, responsáveis pelo dobramento através de deformação plástica das chapas que foram previamente cortadas.

O setor de Pintura, considerado um setor de acabamento, é formado por dois departamentos distintos, sendo eles o forno de polimerização e a secagem.

O setor de Ferramentaria, dedicado a variadas operações como roscar, furar, mandrilar e escarear peças, engloba dois subsectores: a Maquinagem e o Torneamento. A Maquinagem possui 12 centros CNC (Comando Numérico Computorizado) ao seu dispor, nomeadamente fresadoras, máquinas de eletroerosão e retificadoras. Por sua vez, há 4 tornos CNC neste setor.

3.1.3 Pavilhão 2

O pavilhão 2 dá lugar ao setor de estampagem em série (ESTS), constituído por 3 prensas mecânicas, cujo objetivo é imprimir uma certa forma nas peças recorrendo a deformação plástica. A Figura 3.3 apresenta o *layout* simplificado da planta do pavilhão 2. A Figura A-3 do anexo A expõe a planta detalhada do Pavilhão 2.

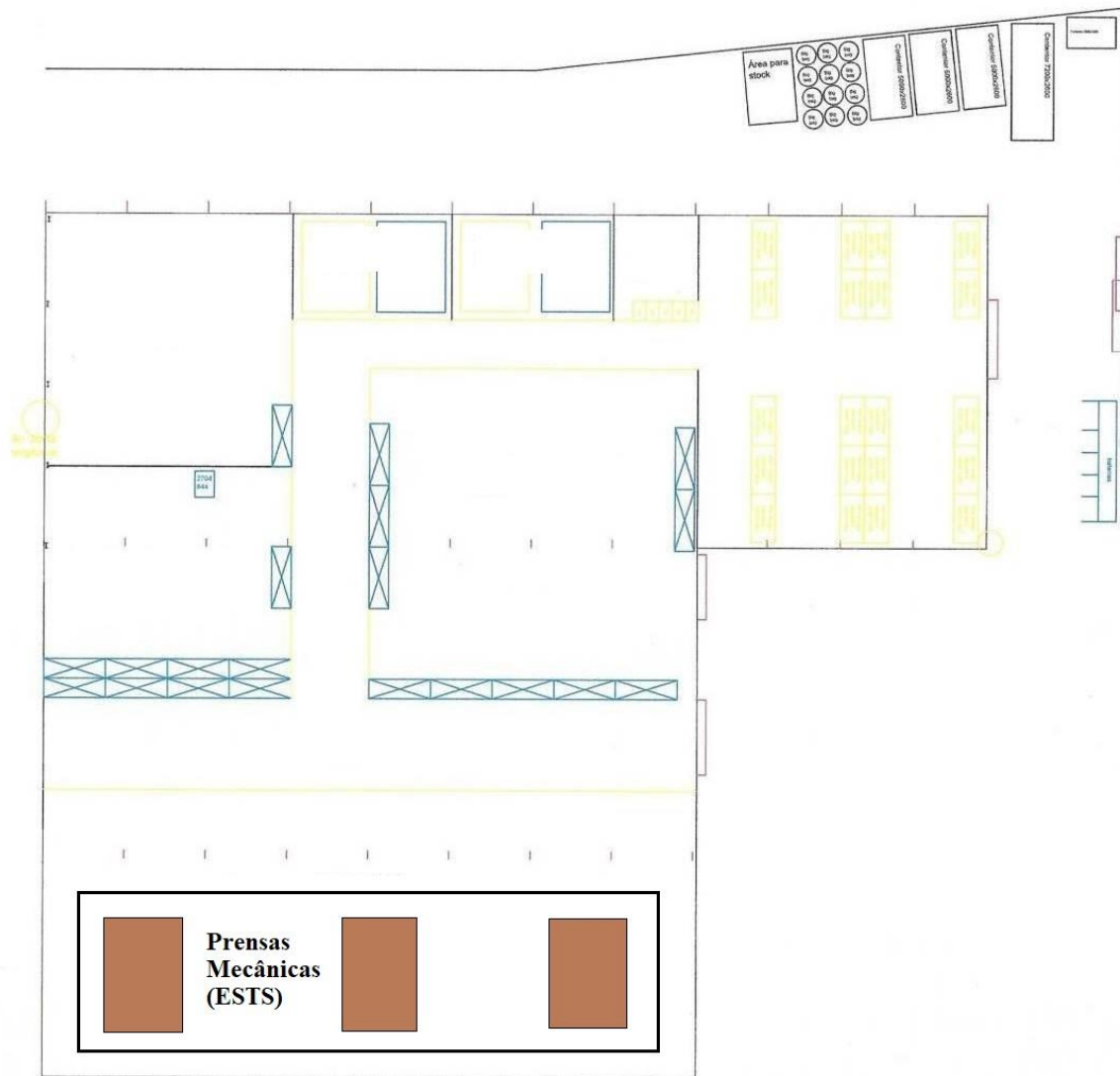


Figura 3.3 – Layout Simplificado do Pavilhão 2

A análise da distribuição dos setores de produção no chão de fábrica pelos três pavilhões do complexo industrial da empresa cliente demonstra a importância de uma comunicação eficaz entre estes. Embora os pavilhões estejam situados em pisos distintos, as ordens de produção, durante o seu ciclo de produção na empresa, ditam que os produtos sejam sujeitos a operações em qualquer um dos setores, salientando a relevância da disponibilização intersectorial de dados de produção, de forma a melhorar o planeamento e organização de cada setor.

3.2 Maturidade Digital

A maturidade digital é o grau de melhoria que as empresas atingem nas operações através da digitalização de processos. Está intimamente relacionada com a capacidade de uma organização rapidamente reagir e responder a novos desenvolvimentos tecnológicos, com o foco em criar valor através de novas capacidades digitais (Dieffenbacher, 2022). De acordo com um inquérito realizado pela Gates et al. (2018), 80% das empresas questionadas encontram-se numa fase de transformação digital, com 90% das mesmas a admitirem severos

obstáculos. Para além disso, um terço dos CEOs de empresas no setor industrial concorda que a sua empresa tem dificuldades em manter-se a par das novas inovações tecnológicas.

A partir da análise da situação inicial AS-IS da empresa cliente, é possível concluir que a maturidade digital da mesma se situa num nível baixo. Por um lado, a mentalidade e cultura organizacionais demonstram haver preocupação e reconhecimento do importante papel que a digitalização de procedimentos e tarefas assume numa indústria competitiva e dinâmica, sendo que a liderança da organização deu os primeiros passos para alterar qualitativamente a forma de trabalhar. Todavia, apenas algumas experiências com tecnologias digitais foram realizadas e poucos processos foram digitalizados. Não há digitalização da grande parte dos documentos essenciais à produção e o seu modelo de negócio assenta em tecnologias antigas, que não oferecem vantagem competitiva, não havendo nenhuma estratégia clara nesse sentido.

De acordo com a revisão da literatura efetuada no capítulo 2, há vários passos a adotar no que diz respeito ao caminho em direção à indústria 4.0 e à fábrica inteligente. A empresa cliente demonstra situar-se na fase preliminar da informatização. Esta fase caracteriza-se pela aplicação de sistemas informáticos dedicados ao planeamento de produção e registo de dados afetos ao processo produtivo no chão de fábrica. Este tópico é explorado em detalhe na subsecção 3.2.1.

Ainda, de acordo com a classificação efetuada por Frank et al. (2019) e Wellener et al. (2019), a empresa cliente integra-se no grupo dos seguidores, onde se encontram a maioria das organizações que estão a dar os primeiros passos em direção a este novo paradigma de produção inteligente. Efetivamente, os obstáculos que a empresa enfrenta de momento prendem-se com a falta de experiência e de uma estratégia para a transformação digital.

3.2.1 Recolha/Registo de Dados no Chão de Fábrica

Os procedimentos efetuados no chão de fábrica para a recolha de dados sobre a produção têm várias componentes e etapas, que, no geral, se revelam bastante manuais e consumidoras de tempo.

- **Sistema de Gestão do Chão de Fábrica**

A empresa cliente, nos seus passos preliminares de informatização antecedentes a este projeto, implementou um sistema MES para efetuar o registo de dados de produção no chão de fábrica.

Este sistema de gestão do chão de fábrica funciona em torno do conceito de ordem de produção (OP). A ordem de produção é um conceito geral que assume significados distintos de acordo com o setor da fábrica em questão. Na grande maioria dos setores, a ordem de produção é, na realidade, uma ordem de fabrico (OF), conceito este bastante conhecido no panorama industrial e explorado detalhadamente na próxima subsecção. É possível agrupar as OFs quando em produção, já que, através da mesma chapa, podem ser fabricadas peças pertencentes a Ordens de Fabrico (OFs) distintas. A exceção a esta regra acontece nos setores de corte laser 2D e 3D, onde o conceito de OF é substituído por uma ordem de corte (OC). As OCs são semelhantes às ordens de fabrico agrupadas, com a particularidade de serem destinadas unicamente para corte de chapas metálicas.

O MES implementado na empresa possibilita fazer um planeamento e gestão das OFs, OCs e OFs agrupadas, permitindo iniciar, consultar, parar e interromper a sua produção. Quando a produção está aberta, é possível registar as quantidades produzidas e rejeitadas durante o processo, através do registo de produção e da gestão do WIP. Adicionalmente, todo

o histórico de produção está disponível para consulta, bem como o stock de determinados componentes e matérias-primas e o estado dos equipamentos, entre outros. Algumas imagens deste sistema encontram-se presentes nas Figuras B-1 e B-2 do Anexo B.

A recolha e registo de dados sobre a produção no chão de fábrica e a introdução dos dados no MES é efetuada manualmente, por cada trabalhador, a partir de estações como a da Figura 3.4, compostas por um computador tradicional, existentes ao lado de cada máquina no chão de fábrica. O tempo despendido com o registo manual complexo destes dados é tempo que não traz valor acrescentado ao processo produtivo.

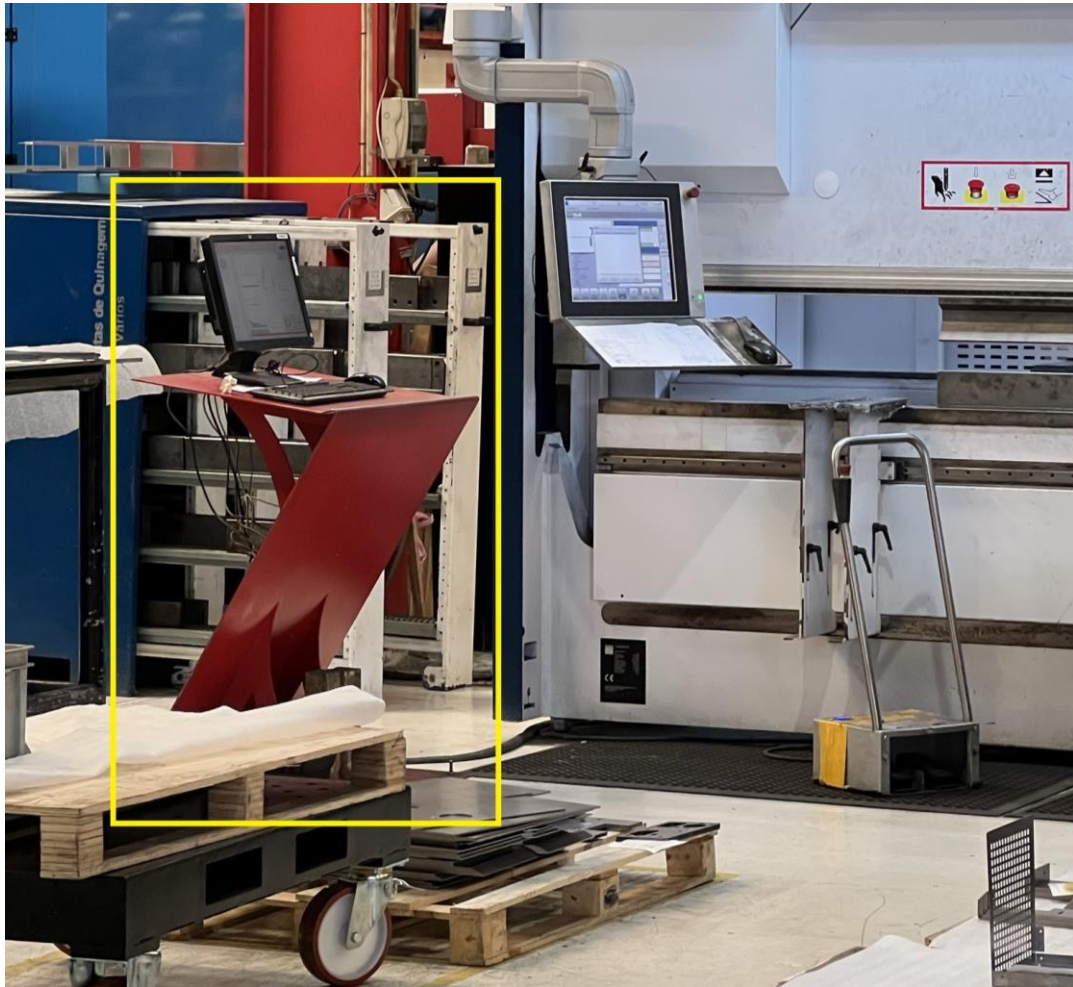


Figura 3.4 – Estação de Recolha de Dados de Produção composta por um computador tradicional

De acordo com a análise da implementação de um CPS na indústria incluída na revisão da literatura, analisando a arquitetura ISA-95, verificamos que a integração de sistemas MES e ERP no processo produtivo configuram os níveis 3 e 4, respetivamente, deste modelo, como ilustrado na Figura 2.2. Contudo, a empresa cliente não tem implementados os níveis predecessores. Por um lado, não se verifica o nível 1 que diz respeito ao uso de PLCs e atuadores para a deteção, manipulação e gestão da produção. Por outro lado, não há monitorização e supervisão de produção em tempo real, nem algum grau de automação conferido pela implementação de sistemas como os SCADA. Ou seja, os níveis 1 e 2 desta arquitetura foram negligenciados.

Como tal, verificamos que não há uma adesão às normas dos modelos considerados *standard* de uma boa implementação de um CPS na indústria e de maturidade tecnológica.

Introduzir dados manualmente num sistema como o MES é bastante rudimentar e, embora haja uma integração positiva do MES no chão de fábrica, a falta de instalação de sensores/captadores de dados nas máquinas que forneçam informação para controlo de produção é uma lacuna crítica.

- **Etiquetas de Ordens de Fabrico**

Uma ordem de fabrico é um documento que confere a autoridade de produzir peças específicas em certas quantidades. Pode ter dois estados, planeada ou em produção, e inclui informação como a quantidade a produzir, estado, setores de produção, referência, artigo, data de entrega e descrição.

A empresa cliente cria as OFs recorrendo ao ERP. Uma OF contém peças com a mesma referência e é identificada por uma folha que a acompanha intitulada “Ficha de Identificação do Produto”, exemplificada na Figura 3.5. Este documento é crucial na organização logística da empresa pois, ao conter a lista dos setores e operações da OF, possibilita o rastreamento das peças produzidas ao longo do seu ciclo de produção no chão de fábrica, nomeadamente durante a movimentação de paletes entre setores, visto que o documento permite que o operador logístico saiba qual o setor de destino das peças.

Este método de rastreabilidade é bastante rudimentar e manual, o que salienta a inexistência da digitalização da grande parte dos documentos essenciais à produção supracitada, contribuindo para o baixo nível de maturidade digital da organização.

Ficha de Identificação do Produto

	ORDEM DE FABRICO 00706159	QUANTIDADE: 80,00	DATA ENTREGA: 07.04.2022 18:00
--	-------------------------------------	----------------------	-----------------------------------

Cliente: - Refª Peça: -
 Prop. MP: -
 Já Existe: Não :

1ª Peça OK: ☐
 Tempos Val.: Não

D - DESENHO 2D	ESW04-Software Solidworks IV
Tempo: 12m Oper. _____	Qtd. _____
PL2 - PROGRAMAÇÃO LASER 2D	DST01-Software Programação Laser 2D I
Tempo: 5m Oper. _____	Qtd. _____
CL2 - CORTE	C2D05-Corte Laser 2D (Trumpf Fibra)
Tempo: 94m20s Oper. _____	Qtd. _____
Ordem Código Qtd. Un. Descrição	
1 MP ALUM. NOR. 030500	1,74 Un ALUMINIO 3000X1500X5
MAQ - MAQUINAÇÃO	FCM09-Centro Maq. IX (Haas VF-2)
Tempo: 335m Oper. _____	Qtd. _____
ROS - ROSCAGEM	FRC01-Roscadora I (Manual)
Tempo: 54m Oper. _____	Qtd. _____
ESC - ESCAREAR	FFD01-Furadora I (EFI)
Tempo: 245m Oper. _____	Qtd. _____
QA - QUEBRAR ARESTAS (MANUAL+L	SAC07-Quebra Arestas (LISSMAC)
Tempo: 82m Oper. _____	Qtd. _____
Q - QUINAGEM	QQN07-Quinadora VII (Trumpf 3100 3m)
Tempo: 65m20s Oper. _____	Qtd. _____
EM - EMBALAMENTO	GEM01-Embalamento Geral
Tempo: 10m Oper. _____	Qtd. _____
Ordem Código Qtd. Un. Descrição	
1 NSTRANSORTE	80,00 UNI V/REF.: CUSTO DE TRANSPORTE

Figura 3.5 – Exemplo de uma OF utilizada no chão de fábrica

- **KPIs e Iniciativas de Melhoria Contínua**

O sistema implementado no chão de fábrica apresenta uma grande limitação relacionada com a falta de uma componente dedicada a análise de performance da produção e melhoria contínua. Embora os trabalhadores registem dados sobre a produção, quantidades produzidas e rejeitadas, e estados dos postos, entre outros, estes dados não servem qualquer outro propósito dentro do sistema digital a não ser a sua consulta. Desta forma, verifica-se que a empresa cliente incorre no erro de registar e capturar dados como um fim que não serve um propósito claro.

Na verdade, são os trabalhadores e gestores que têm de, manualmente, registar os dados apropriados para o cálculo de KPIs em quadros que existem em cada setor como o ilustrado na Figura 3.6. Estes indicadores são agrupados por turnos, diariamente, descrevendo a performance operacional das máquinas. A tarefa de registar estes dados e calcular os KPIs manualmente são uma tarefa que não acrescenta valor algum e acaba por se revelar um esforço duplicado, acrescido àquele que já é feito pelos operadores quando registam a informação no MES.

A componente de melhoria contínua é também exposta nos quadros tipo, como o quadro representado na Figura 3.6. Este quadro apresenta iniciativas de melhoria organizadas em Kanban de acordo com o ciclo Planeado-Em Curso-Terminado-Escalar. A este módulo, acresce uma secção dedicada às auditorias, organizadas de acordo com a metodologia *lean 5S*.

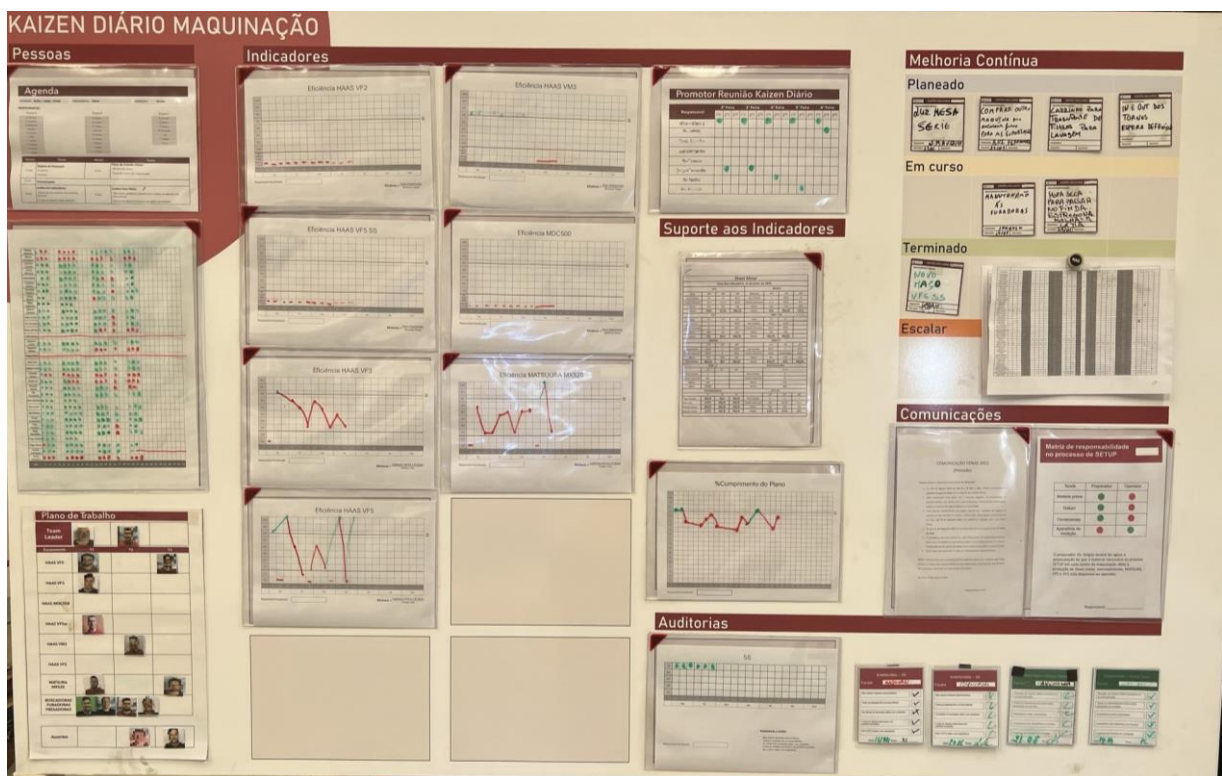


Figura 3.6 – Quadro de Setor de Apresentação de KPIs, Melhoria Contínua e Auditorias

Analisando a Figura 3.6, no que diz respeito a KPIs, percebe-se que há um foco particular na eficiência das máquinas de cada setor, sendo que não há variabilidade de setor para setor, o que demonstra a uniformidade de avaliação do desempenho dos diferentes setores da unidade fabril.

3.3 Exposição do Problema

A empresa cliente está bem estabelecida no ramo automóvel, sendo um *Original Equipment Manufacturer* (OEM), ou seja, fornece componentes para veículos. Neste ramo industrial, os fornecedores, como é o caso da empresa cliente, e os fabricantes de veículos estão estreitamente integrados, operando ao mesmo ritmo e partilhando informação acerca da produção. Pequenas ineficiências podem acumular-se e ter um impacto elevado nos custos da empresa e no fluxo de trabalho dos seus parceiros. Como tal, um sistema que apresente os dados do chão de fábrica em tempo real e facilite a colaboração e melhoria contínua entre trabalhadores é crucial de forma a reduzir ineficiências.

Na trajetória com rumo à fábrica inteligente, a empresa cliente revela ter saltado alguns passos considerados cruciais na adoção de uma boa arquitetura industrial digital. Embora haja a implementação de softwares como o MES no chão de fábrica, e o ERP, não existe uma integração clara e prática entre os mesmos. Para além disso, grande parte do rastreamento de ordens de produção é executado em cada máquina, onde toda a introdução de dados está muito dependente dos dados que o trabalhador insere no sistema no fim da produção. Desde o registo de abertura de uma ordem de produção, ao registo de quantidades produzidas e rejeitadas, estas são atividades recorrentes que não adicionam valor ao processo produtivo e que, devido à sua natureza manual, são mais suscetíveis a erros. Reduzir o número destas tarefas e o tempo com elas despendido é crucial.

Ademais, cada setor tem um quadro em que os KPIs de cada equipamento são inseridos manualmente, sendo um trabalhador ou gestor responsável por percorrer todas os equipamentos e recolher os dados e registá-los no quadro. Esta tarefa deve ser eliminada visto que reduz a produtividade da empresa e ocupa tempo valioso de trabalho.

No que diz respeito a iniciativas de colaboração e melhoria contínua, cada setor adota certas iniciativas num esforço para melhorar os seus KPIs, sumarizando as suas ações e resultados e gerando relatórios manualmente. Esta situação leva a uma falta de homogeneidade na avaliação entre setores e iniciativas, ao contrário do que acontece com os KPIs. Para além disso, a natureza descentralizada do processo não permite que haja melhorias gerais e abrangentes regularmente, e cria barreiras de comunicação e colaboração dentro da empresa, limitando a partilha do conhecimento. Há vários *workflows* de melhoria ao longo do ciclo produtivo da organização que demonstram enorme potencial para serem digitalizados, nomeadamente aqueles que se baseiam em *checklists*. Ao digitalizá-los e simplificar o seu preenchimento, reduzindo atividades sem valor acrescentado, facilita-se a análise do processo produtivo.

O proGrow surge como uma plataforma que possibilita a digitalização do chão de fábrica em todas as suas componentes, desde a produção até aos KPIs, relatórios e melhoria contínua, disponibilizando para esse efeito cinco módulos: KPIs, *Shopfloor*, Relatórios, *Kanban* e Melhoria.

4 Descrição da Solução *TO-BE*

Após a apresentação da situação inicial *AS-IS* do chão de fábrica da empresa cliente, este capítulo tem como objetivo expor a solução desenhada e implementada, baseada na informação previamente recolhida.

A solução apresentada neste capítulo apresenta quatro componentes cuja área de intervenção foi da responsabilidade direta no âmbito do projeto. Em primeiro lugar, na etapa da conectividade dos equipamentos, cuja responsabilidade foi de ambas as equipas técnicas da proGrow e da empresa cliente, adotou-se uma postura *hands-off*, de supervisão e estabelecimento de uma ponte de comunicação entre as mesmas. Em segundo lugar, as etapas da visibilidade e transparência, através da configuração, implementação e avaliação do impacto, são áreas de intervenção de responsabilidade própria, com uma postura *hands-on*. Como tal, a programação e *deploy* dos módulos que fazem parte da solução, nomeadamente dos KPIs, áreas, páginas, relatórios, projetos e tarefas foi um ponto central do trabalho desenvolvido. Adicionalmente, o desenvolvimento de novas funcionalidades foram contributos adicionais, necessários e próprios, de forma a que o fluxo de registo de produção na plataforma corresponda ao fluxo usado no chão de fábrica da empresa cliente. Por fim, há um destaque para as medidas adotadas no âmbito do processo de gestão de mudança, crucial para um projeto com uma dimensão ligada aos recursos humanos tão vincada.

4.1 Validação de Dados

O foco inicial da validação de dados prende-se com a necessidade de compreender os processos e de colocar em prática estratégias que reúnam todos os intervenientes. Só depois de perceber a situação inicial é que pode ser pensada e implementada uma solução.

Ao longo do projeto, foram realizadas várias etapas de especificação dos requisitos do cliente e de revisão do âmbito e alcance do projeto. Tornou-se imperativa a documentação dos fluxos dos processos produtivos no chão de fábrica e dos procedimentos normais dos trabalhadores, bem como a apreciação das necessidades de digitalização do chão de fábrica. Foi importante perceber como é o ciclo de produção no chão de fábrica, ficar a conhecer os vários setores da empresa, as suas tarefas e produtos, o fluxo intersectorial e as suas nomenclaturas e processos internos, para que a solução apresentada se integre com o dia-a-dia da empresa, de forma a causar o mínimo de perturbação aos seus procedimentos, numa filosofia guiada pela máxima da adaptação da solução à empresa e não da adaptação da empresa à solução, dentro do possível. A importância de validar a informação e os dados adquiridos prende-se com o facto de, antes de imaginar, desenhar e executar uma solução, ser necessário perceber como é que o chão de fábrica se encontra previamente, quais os objetivos da empresa e os resultados que esta espera com a implementação do projeto e quais as preocupações, requisitos e necessidades para o desenho da solução. Os objetivos da realização da validação de dados foram:

- Incluir todos os intervenientes no projeto e incorporar as suas ideias/sugestões;
- Encorajar a externalização do conhecimento dos intervenientes de uma forma adequada e organizada;
- Validar a informação recolhida, sujeita a subjetividade dos vários *stakeholders* e proveniente de diversas fontes, desde gestores até trabalhadores;
- Demonstrar que os processos internos da empresa foram assimilados e entendidos antes de prosseguir para a fase de desenho e execução da solução.

A validação de dados foi orgânica, tendo decorrido ao longo de todo o projeto e procurando sempre ter o *feedback* dos intervenientes competentes. A proGrow criou uma equipa responsável pelo projeto, pela comunicação com os intervenientes e pela execução da solução. A empresa cliente reuniu uma equipa responsável pela gestão da transformação digital, apresentando vários intervenientes do seu lado, entre eles:

- Líderes do projeto, responsáveis pela aprovação e direção macro do mesmo;
- Gestor do Projeto, responsável pela aprovação de *milestones* e gestão de atividades;
- Equipa Informática de *Feedback* e definição da solução, responsável por questões técnicas informáticas e de integração da solução proposta com os sistemas já existentes;
- Operadores no chão de fábrica, que contribuíram para a avaliação da situação atual e potenciais melhorias a integrar na solução implementada.

Há uma ênfase especial para o papel que os trabalhadores e operadores no chão de fábrica assumiram, visto que são estes que estão diariamente a produzir peças e sabem bem quais as frustrações, problemas, dificuldades e pontos positivos da organização. De acordo com Kotter (1996), o esforço de mudança começa com os indivíduos a reconhecerem problemas e a investirem nas suas soluções. Um único gestor é incapaz de, de forma unilateral, implementar uma mudança numa empresa. Todavia, um conjunto de pessoas, nomeadamente os trabalhadores, a trabalharem para um objetivo comum de mudança, são um fator condutivo do sucesso da iniciativa. Deste modo, o *input* de todos os intervenientes do projeto desbloqueou e enriqueceu a solução proposta ao longo deste capítulo.

A validação dos dados assumiu várias formas ao longo do projeto, nomeadamente:

- Visitas ao chão de fábrica da empresa cliente;
- Reunião de Arranque do Projeto, com os líderes e gestor do projeto;
- Reuniões esporádicas de Definição do Âmbito e Alcance do Projeto, principalmente durante o início do projeto;
- Reuniões semanais de Status do Projeto, realizadas com o gestor do projeto e a equipa de *feedback* até à entrega da solução final completamente implementada.

O âmbito do projeto foi definido desde o seu início, estabelecendo etapas e *milestones* claros e entregáveis ao longo do cronograma do projeto. Estes pilares contribuíram para a eliminação de obstáculos futuros através da atribuição proativa de responsabilidades e *milestones* de uma forma incremental.

Ao longo do projeto, o uso de maquetes e protótipos foi recorrente, como fundação para construir a solução. O processo foi iterativo e teve sempre em conta os pontos relevantes que a empresa cliente salientava, bem como o seu *feedback*.

4.2 proGrow no Processo

A plataforma proGrow tem como intenção digitalizar o chão de fábrica de uma organização, através da aquisição e apresentação de dados ao mesmo tempo que possibilita a colaboração e melhoria contínua baseadas nesses mesmos dados. A plataforma foi criada com o intuito de fazer com que a transformação digital industrial fosse mais simples e contribuísse para uma transição mais generalizada para o paradigma da Indústria 4.0.

A plataforma está dividida em cinco módulos: *Shopfloor*, KPIs, Relatórios, Kanban e Melhoria. O proGrow foi pensado e implementado de forma a ser flexível, customizável e *user-friendly*, não apenas na sua utilização, mas também na sua instalação.

Efetivamente, o serviço oferecido pela proGrow pode ser classificado como *Software as a Service* (SaaS), de acordo com a revisão da literatura efetuada acerca de *cloud computing* na presente dissertação. De facto, a plataforma é fornecida através da web, sendo possível aceder-lhe através de vários tipos de interfaces, desde computadores tradicionais com um navegador de internet, até tablets ou *smartphones*. A ferramenta fornecida ao cliente tem como objetivo usar a plataforma proGrow a correr numa infraestrutura na *cloud*. O cliente não gere ou controla a infraestrutura *cloud* por detrás do serviço, havendo envolvimento mínimo do departamento de IT do cliente. Esta solução é comparativamente mais barata já que pode ser usada em múltiplas localizações através de uma só licença. As atualizações são disponibilizadas do lado do servidor, sendo refletidas instantaneamente no sistema da empresa cliente. O mesmo acontece com a manutenção e resolução de problemas, simplificando o processo e reduzindo o tempo e dinheiro gasto para ambas as empresas: proGrow e cliente.

4.3 Solução Implementada vs. Soluções Tradicionais

A solução implementada na empresa cliente apresenta alguns aspetos distintos das soluções tradicionalmente pensadas no paradigma da IoT e digitalização do chão de fábrica.

O mercado tradicional de IoT + Indústria 4.0 oferece soluções que têm como objetivo substituir o MES, apresentando-se como uma nova geração deste sistema. Os sistemas tradicionais de MES são limitados por *bottlenecks* impostos pela componente técnica de IT ou pelos vendedores destes sistemas, dado o facto de cada mudança pedida pelo cliente se transformar numa negociação demorada e dispendiosa, atrasando possíveis melhorias. Em resposta a esta inflexibilidade dos sistemas tradicionais de MES, surge, então, uma nova geração de sistemas MES, desenvolvidos numa plataforma *low-code*, permitindo que as equipas que acompanham as operações diárias possam construir e configurar as ferramentas de que o chão de fábrica necessita agora ou posteriormente, à medida que novas situações e condições se criam.

Contudo, a solução implementada na empresa cliente através da proGrow não pretende substituir o sistema MES já implementado no chão de fábrica, nem se apresenta como uma nova geração de MES. O proGrow ocupa um novo nicho de mercado – entre sistemas MES e plataformas IoT - definido recentemente, não se integrando, por isso, no mercado tradicional de MES.

O sistema MES da empresa cliente tem como principais funcionalidades o registo de produção, o planeamento e gestão de Ops, e a gestão de WIP. É possível ainda fazer a gestão da manutenção dos equipamentos no chão de fábrica, bem como fazer a análise da qualidade da produção, através do registo de quantidades produzidas e rejeitadas. Todavia, este é um sistema incompleto, uma vez que se denotam algumas lacunas no que diz respeito à conectividade, visibilidade e transparência que o MES oferece ao chão de fábrica, já que não oferece ligações diretas aos equipamentos, e não permite a supervisão e análise em tempo real da situação do chão de fábrica, dos KPIs, nem de relatórios de resumo de produção. Para além disso, não existe a possibilidade de fazer gestão da melhoria a partir deste sistema.

Posto isto, o proGrow surge como um complemento ao sistema MES já implementado e utilizado diariamente pela empresa cliente. Desta forma, são poupados recursos valiosos da empresa no que diz respeito a tempo, investimento e formação. Caso a solução implementada passasse por substituir ou fornecer uma alternativa ao MES, isto significaria bastante tempo gasto em negociações e definição de requisitos de IT e em reaprendizagem por parte dos colaboradores. Nesse sentido, foi estabelecido que a solução a implementar deveria passar por um complemento que acelerasse a transição da empresa cliente para o paradigma da indústria 4.0 e que, dessa forma, evitasse os obstáculos e *bottlenecks* que normalmente caracterizam a implementação de um novo MES.

Esta solução surge do princípio de o *software* se adaptar à realidade do chão de fábrica. Por isso, a solução implementada pretende colmatar as lacunas identificadas previamente, nomeadamente no que diz respeito à ligação aos equipamentos, visibilidade de indicadores em tempo real e gestão de melhoria. Para que tal aconteça, o proGrow conecta-se facilmente aos equipamentos no chão de fábrica, através de ligações IoT, sem sensores ou a necessidade de uma implementação complexa, de forma a capturar dados sobre a produção e estado da máquina diretamente da fonte, sob a forma de registos de produção. Com os dados recolhidos, a plataforma faz a sua análise e gera relatórios, calculando KPIs em tempo real. Através da visualização dos indicadores pretendidos, a empresa cliente tem a possibilidade de fazer a gestão de iniciativas de melhoria na plataforma.

A Figura 4.1 apresenta as funcionalidades dos sistemas ERP e MES implementados na empresa cliente e a comparação com as funcionalidades da plataforma proGrow.

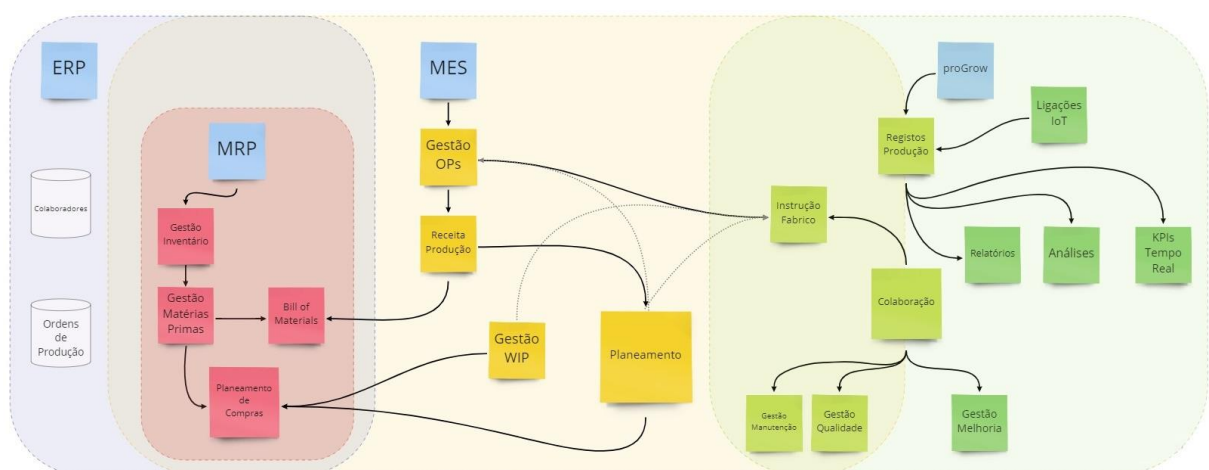


Figura 4.1 – Funcionalidades ERP/MES/proGrow

Após a análise da Figura 4.1, é possível perceber a forma como o proGrow se compara e complementa com os sistemas já implementados na empresa cliente. Quando se fala em complementaridade, é preciso especificar como é que o proGrow se irá integrar com tais

sistemas, sendo este tema explorado na subsecção 4.4.1. A Figura C-1 do Anexo C apresenta o esquema das funcionalidades ERP/MES/proGrow de forma detalhada.

Efetivamente, este é um aspeto diferenciador da solução implementada. O proGrow não é uma plataforma estanque, isolada dos restantes sistemas informáticos. Pelo contrário, ela comunica com o ERP e com o MES da empresa cliente, quer seja através da importação de tabelas de dados com as ordens de fabrico e colaboradores do ERP, quer seja através do envio de dados da produção para o MES. Como tal, a solução implementada conecta todas as funcionalidades de que a empresa necessita e que estão “espalhadas” por vários sistemas informáticos. A forma como esta integração ocorre é explorada em detalhe na secção 4.4.1. De acordo com Aptean (2022), ao integrar estes sistemas, a produção torna-se ágil e a empresa pode otimizar integralmente a sua produção para reagir à turbulência do mercado, permitindo minimizar custos e maximizar a capacidade de reposta às constantes mudanças dos requisitos dos clientes.

Esta integração ajudará a atingir resultados mais ambiciosos e precisos, aumentando a clareza operacional e equipando as organizações com a capacidade de monitorizar e ajustar a sua performance com base nos seus planos de negócio (Aptean, 2020). O ERP sabe porque é que as decisões têm de ser tomadas. O MES sabe como executar essas decisões. O proGrow disponibiliza os dados, indicadores e espaço de melhoria para que essas decisões sejam tomadas recorrendo à informação mais atual e correta possível. Cada um destes sistemas tem o seu propósito, o que faz deles sistemas complementares.

4.4 Componentes da Solução

A solução implementada na empresa cliente está dividida em quatro componentes relacionadas com a conectividade, visibilidade, transparência e gestão da mudança.

Na etapa da conectividade, assumiu-se uma posição *hands-off*, numa vertente de supervisão, bem como de acompanhamento e estabelecimento de um canal de comunicação entre os intervenientes e as equipas responsáveis por esta fase, nomeadamente com a empresa cliente e a equipa informática da proGrow. Desta forma, foi possível coordenar o trabalho destas equipas e garantir o seu sucesso.

As restantes etapas foram *hands-on*, com participação ativa e total responsabilidade de implementação. Configurou-se a plataforma para proceder à digitalização do chão de fábrica, no âmbito das fases de visibilidade e transparência, com a monitorização do chão de fábrica em tempo real. Por fim, houve sempre a preocupação de fazer uma gestão do processo que tivesse em conta a dimensão da mudança, organizando-se reuniões periódicas e sessões de formação, entre outras iniciativas.

4.4.1 Conectividade

Na etapa da conectividade, é colocado um foco na conexão e integração entre a plataforma, as máquinas que se pretendem digitalizar e os sistemas de informação ERP e MES já presentes na empresa cliente.

No que diz respeito às fontes de dados da plataforma, há a possibilidade de digitalizar os sinais das máquinas, bem como recolher informação através das bases de dados de sistemas como o ERP, ou, ainda, o registo manual de dados diretamente na interface da plataforma.

Há várias formas de recolher os sinais das máquinas: através de PLCs ou PCs industriais, já integrados ou ligados às máquinas, ou recorrendo a mecanismos externos, sob a forma de protocolos e *gateways* IoT.

No que diz respeito aos sistemas de informação, a integração vertical entre sistemas e a plataforma pode ser feita através de *upload* manual de ficheiros, ou dando acesso à base de dados da empresa cliente à base de dados da proGrow (via APIs, diretamente, ou, indiretamente, via documentos gerados automaticamente).

Este projeto abrange a digitalização de 54 máquinas, de acordo com a informação apresentada na Tabela 3.1. Existem três fontes de dados: sinais das máquinas, base de dados do ERP e registo manual. Para além disso, há a necessidade de exportar dados sobre a produção recolhidos e armazenados na plataforma para o sistema MES para o fluxo de informação de gestão do chão de fábrica que a empresa cliente beneficia nesse sistema.

• Sinais das Máquinas

Para este projeto, foi determinado que, dependendo da máquina em questão os sinais coletados nas máquinas fossem:

- *Power Status* da Máquina: Ligado/Desligado **(1)**;
- Estado da Máquina: Produção/Paragem **(2)**;
- Contagem de Peças produzidas **(3)**.

A Tabela 4.1 resume a informação dos sinais captados por tipo de máquina e setor, de acordo com as especificações acordadas com a empresa cliente.

Tabela 4.1 – Sinais Captados por tipo de máquina e setor

Setor	Código	Máquinas	Sinais Digitalizados por Máquina
Corte Laser 2D	CL2D	3	(1), (2)
Corte Laser 3D	CL3D	5	(1), (2), (3)
Quinagem	QUI	5	(1), (2), (3)
Ferramentaria - Maquinagem	FER	15	(1), (2)
Ferramentaria - Torneamento	FER	4	(1), (2), (3)
Estampagem em Série	ESTS	3	(1), (2), (3)
Pintura	PNT	2	(1), (2)
Soldadura Robotizada	SRB	6	(1), (2), (3)
Soldadura Manual MIG/MAG	SMG	7	(1)
Soldadura TIG	SLDTIG	4	(1)

Os sinais das máquinas são captados através de *gateways* IoT, que detetam os sinais provenientes das máquinas. A Figura 4.2 apresenta um exemplo dos quadros elétricos instalados no chão de fábrica com os dispositivos IoT pela empresa cliente.



Figura 4.2 – Quadros elétricos instalados no chão de fábrica para captação de sinais das máquinas

Para que haja a captação de um sinal de uma máquina, foi instalado um relé por sinal em cada equipamento. Cada relé é ligado ao autómato PLC (2), representado na Figura 4.2, que tem a função de receber os sinais das máquinas, e fazer a conversão dos sinais recebidos para sinais que possam ser lidos e armazenados pelo servidor na *cloud*. Uma vez instalados e ligados os quadros elétricos, procedeu-se, em conjunto com a equipa informática da proGrow, à tradução dos sinais das máquinas em dados compatíveis com a base de dados da plataforma. Esta conversão é feita através de programação no autómato recorrendo à linguagem *Ladder*, o que permitiu definir as variáveis que a plataforma necessita de ler. Por sua vez, o PLC está ligado ao *gateway* IoT (1). Este dispositivo é o *router* industrial Flexy eWon (1), responsável por adquirir e transmitir os dados para serem armazenados num servidor *Open Platform Communications* (OPC) na *cloud*.

Através da configuração duma máquina virtual, a plataforma proGrow consegue ler e escrever dados neste servidor. Os dados de leitura ou escrita ficam acessíveis à plataforma na *cloud*, recorrendo ao protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), permitindo enviar e receber informação da máquina virtual. Esta solução possibilita a monitorização em tempo real do chão de fábrica e é usada para calcular vários KPIs.

- **Base de Dados do ERP**

A base de dados do sistema ERP implementado na empresa cliente contém outros tipos de informação complementar, nomeadamente as ordens de produção e respetivos detalhes:

código da OP, quantidade planeada, referência da peça, tempo de ciclo teórico, etc. Esta base de dados também fornece outros tipos de informação relacionada com os dados dos trabalhadores da empresa, nomeadamente os seus códigos e nomes. Para aceder a esta informação, a empresa cliente criou uma conta de utilizador para que pudesse haver acesso direto à base de dados do ERP e fosse possível extrair a informação relevante para a solução apresentada nesta presente dissertação, através do uso de SQL.

A Figura 4.3 esquematiza o processo de extração de dados do ERP sobre as Ordens de Produção (OP).

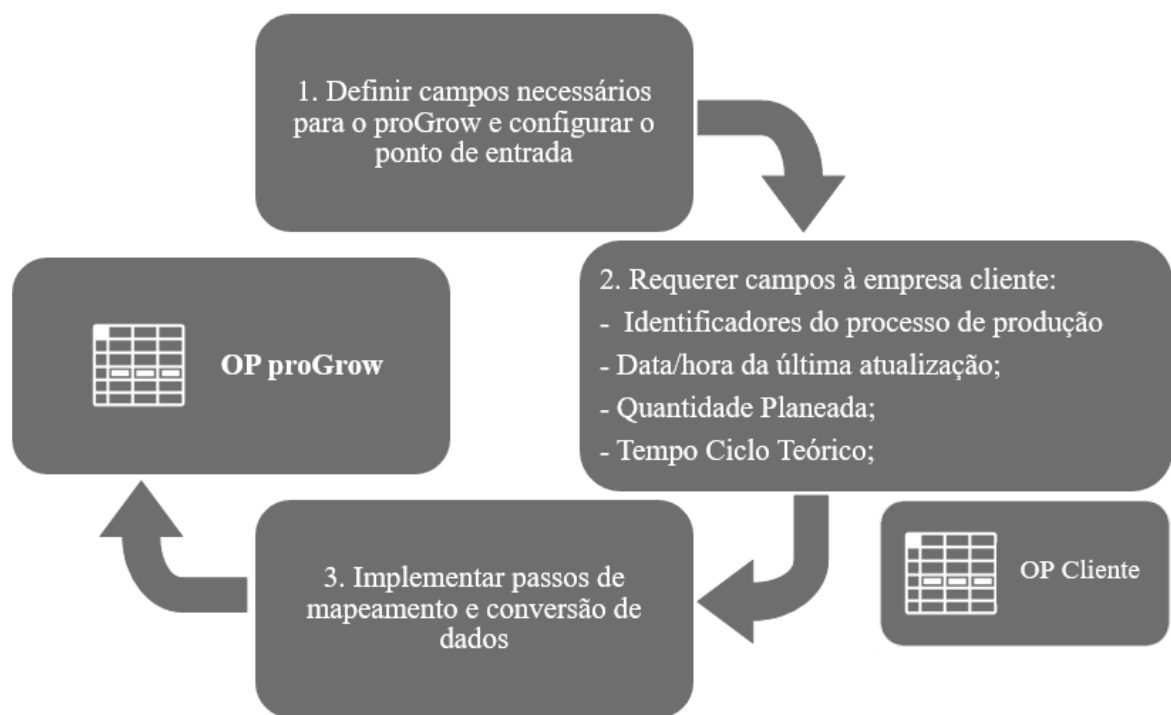


Figura 4.3 – Esquema sobre o processo de extração de dados sobre OPs do ERP

O primeiro passo passou por definir quais os aspetos necessários para o proGrow e as portas de entrada dos dados. No que toca à integração com o ERP, a porta de entrada destes dados na *cloud* é idêntica aos dispositivos IoT. Como tal, a informação adquirida da base de dados do ERP é armazenada no mesmo servidor que os dados destes dispositivos, tal como descrito previamente.

Após a definição do primeiro passo e a facultação dos campos pela empresa cliente, de acordo com o segundo passo, o *pipeline* de operações seguido no terceiro passo cumpriu a seguinte ordem:

1. Extrair os dados do ERP;
2. Efetuar o processamento dos dados caso seja necessário;
3. Enviar para o servidor na *cloud*.

- **Registo Manual**

A informação relacionada com as paragens de produção e peças rejeitadas é inserida diretamente na plataforma pelos trabalhadores destacados para cada máquina no momento em que este tipo de ocorrências se registam. Estes têm a responsabilidade de associar um tipo e

motivo para a paragem ou peça rejeitada. As Figuras D-1 e D-2 do Anexo D representam as interfaces de justificação de paragens de produção e registo de peças rejeitadas, respetivamente. Adicionalmente, os operadores também são responsáveis por abrir a ordem de produção que estão a produzir num certo momento. Esta informação não pode ser captada através dos sinais das máquinas, pelo que têm de ser os trabalhadores a fornecer o contexto de produção apropriado à plataforma, de forma a que os dados gerados pelas máquinas fiquem indexados à OP correta. Na totalidade, foram configurados 7 campos de registo de produção – colaborador, operação, ordem de produção, artigo, tempo de ciclo teórico, quantidade planeada e multiplicador. A Figura 4.4 ilustra a interface que permite abrir a produção de uma OP no módulo do “Shopfloor”, descrito em detalhe na secção 4.4.2.

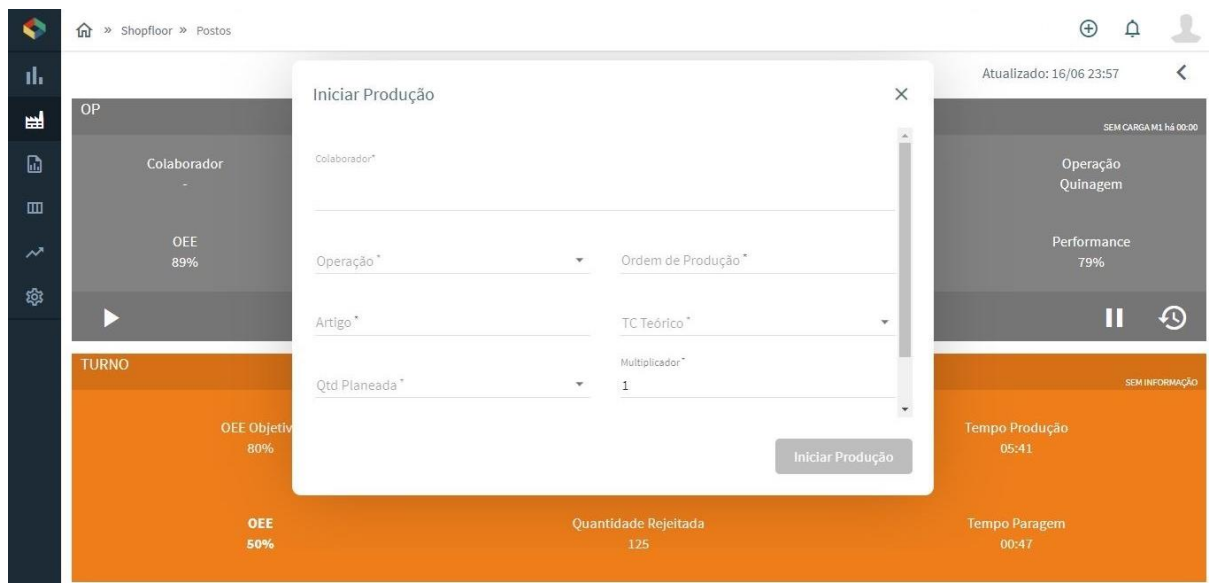


Figura 4.4 – Interface de Registo Manual dos Contextos de Produção na plataforma proGrow

De acordo com a nomenclatura e organização de informação da empresa cliente apresentada no capítulo 3, esta utiliza o conceito abrangente de ordem de produção. Contudo, este conceito assume diferentes significados conforme o setor de produção: na maior parte dos setores, uma OP é, na verdade, uma simples ordem de fabrico, muito comum em ambientes industriais. Por outro lado, nos setores de corte laser 2D e 3D, a OP é, efetivamente, uma ordem de corte, com parâmetros e informações adicionais. Ainda há a possibilidade de agrupar ordens de fabrico para que sejam produzidas ao mesmo tempo, introduzindo o conceito de OFs agrupadas. Este fluxo de informação da empresa cliente levou a que fosse necessário o desenvolvimento de uma nova funcionalidade na plataforma, que possibilitasse a seleção de múltiplas OFs e ordens de corte, uma vez que a plataforma, inicialmente, apenas dispunha do registo de produção de ordens de fabrico. Desta forma, foi possível garantir a adaptação da plataforma à realidade de informação e workflow do chão de fábrica da empresa cliente, sem que houvesse disrupções significativas no registo de informação que os trabalhadores estão acostumados.

- **Integração do MES/proGrow**

Há a necessidade de enviar a informação armazenada na plataforma acerca da produção para o sistema MES da empresa, de forma a que haja o cumprimento das funções essenciais deste sistema, tais como o planeamento da produção. A solução implementada contemplou o desenvolvimento de uma *Application Programming Interface* (API), que garante que esta informação está pronta a ser recolhida pelo cliente. Não se trata de um envio de dados da

proGrow para a empresa cliente, mas sim de uma integração do MES com a plataforma, para que a empresa cliente possa recolher dados com a frequência que deseje. Este compromisso garante que há uma separação clara e evidente das responsabilidades entre a proGrow e a empresa cliente. A API garante a fiabilidade da integração entre sistemas, visto que, mesmo que haja alterações na plataforma que modifiquem o seu modo de funcionamento, a API ficará operacional.

4.4.2 Visibilidade

Uma vez estabelecida a ligação entre a plataforma e as fontes de dados, a informação precisa de ser disponibilizada e visualizada de uma maneira que seja conveniente e que traga valor para a empresa.

De facto, ao desenhar esta solução e as interfaces com que os utilizadores interagem, foi tido em conta a necessidade de poder consultar os dados de forma intuitiva e simples, sem complicações ou menus intermináveis, que fossem um obstáculo à adaptação dos colaboradores à plataforma ou apresentassem informação supérflua. A informação apresentada em cada módulo é a essencial para se obter uma noção clara do que está a acontecer no chão de fábrica em determinado instante. Ademais, a mesma abordagem foi levada a cabo para a definição e configuração das interfaces de inserção de dados manuais acerca dos contextos de produção, paragens e rejeições.

A visualização dos dados recolhidos e tratados é feita através dos módulos da plataforma - “Shopfloor”, “KPIs” e “Relatórios”. Estes módulos são configurados de acordo com as especificações e requisitos acordados com o cliente, de forma a melhor satisfazerem as suas necessidades e a facilitar a transição e adoção da plataforma. A título de exemplo, cada setor possui um quadro resumo com os KPIs para um determinado dia e turno (Figura 3.7). Esta informação está facilmente acessível na plataforma, de forma a manter rotinas e funcionalidades a que os trabalhadores e gestores já estão habituados.

- **Módulo “KPIs”**

De acordo com a análise da situação inicial efetuada no capítulo 3 da presente dissertação, a empresa cliente faz a análise da performance do chão de fábrica através da monitorização da eficiência da cada máquina. Os dados são registados, de forma manual, em quadros que existem em cada setor da fábrica. A solução implementada pretende colmatar as lacunas identificadas, no que diz respeito, não só à forma como os dados são registados, mas também em relação à pluralidade dos KPIs calculados.

Os KPIs que integram a solução estão maioritariamente relacionados com a eficiência operacional, como o OEE e os seus componentes – disponibilidade, qualidade e performance. Para complementar estes KPIs, também foi introduzido o rastreamento de setups ao longo do processo produtivo. Adicionalmente, foi necessário definir e configurar a granularidade com que os KPIs são apresentados: em geral, os indicadores podem ser apresentados agrupando os dados por fábrica, máquina, turno, ordem de produção (OP) e referência da peça. No total, foram configurados 15 KPIs para este módulo, 7 modos de agrupamento de dados (granularidade) e permitida a filtragem dos dados por qualquer outro intervalo de tempo definido *a posteriori* pela empresa cliente. A Tabela 4.2 sumariza todos os KPIs implementados na plataforma e a granularidade associada aos indicadores.

Tabela 4.2 – KPIs implementados na plataforma e respetiva granularidade dos dados

KPI	Granularidade dos KPIs
OEE	Análise por fábrica, máquina, turno, OP e referência
Disponibilidade	
Performance	
Qualidade	
Tempo de Paragem Total	Análise por fábrica, máquina, turno, OP, referência e tipo/motivo de paragem
Tempo de Paragem Planeada/Não Planeada	
Tempo Médio de Paragem	
Tempo Disponível	Análise por fábrica, máquina, turno, OP e referência
Tempo de Produção	
Tempo de <i>Setup</i> Total	
Tempo Médio de <i>Setup</i>	
Número de <i>Setups</i>	
Quantidade Produzida	
Quantidade OK	
Quantidade Rejeitada	Análise por fábrica, máquina, turno, OP, referência e tipo/motivo de rejeição

A Tabela E-1 do Anexo E apresenta um documento redigido durante o desenvolvimento do projeto, em que se reúnem as especificações da empresa cliente em termos de KPIs, das respetivas fontes de dados que os alimentam, das métricas associadas aos mesmos e as suas fórmulas de cálculo agregadoras.

O tópico da associação da informação recolhida foi também um assunto considerado na configuração da solução. Cada peça rejeitada está associada a um tipo e motivo de rejeição (Tabela D-2 do Anexo D), enquanto que uma paragem e o seu subsequente tempo estão relacionados com um tipo e motivo de paragem (escolhidos de uma lista dinâmica de causas apresentadas na Tabela D-1 do Anexo D). Ao fazer esta interligação entre dados e as suas causas, os gestores podem consultar e associar os tempos de paragem e rejeições de peças a um determinado tipo de rejeição/paragem, mas também a uma determinada máquina, ordem de produção ou trabalhador. Ao identificar o fator com maior peso para a o tempo de paragem ou rejeições de peças, a plataforma ajuda o gestor a tomar uma decisão informada. No módulo de “Melhoria”, apresentado posteriormente nesta subsecção, esta informação pode ser estudada para proceder ao diagnóstico de problemas com a linha de produção e aplicar iniciativas de melhoria contínua.

Após a definição dos indicadores a digitalizar, este módulo da plataforma permite uma visualização e leitura fácil dos KPIs, calculados automaticamente através dos dados, em tempo real, dos equipamentos (como tempo de produção ou tempo de paragem) ou através de dados inseridos manualmente (como a quantidade rejeitada). Estes indicadores podem ser analisados e comparados com certos objetivos delineados pela empresa e agrupados em diferentes horizontes temporais (ano, trimestre, mês, semana, dia ou turno) ou em níveis

(fábrica, máquina, ordem de produção ou referência). A Figura 4.5 exemplifica uma página deste módulo.



Figura 4.5 – Página do Módulo “KPIs”

- **Módulo “Shopfloor”**

O módulo “Shopfloor” apresenta, em tempo real, informação sobre cada equipamento, setor ou fábrica, em geral. É neste módulo que existe a maior interação plataforma/colaborador no chão de fábrica uma vez que é aqui que os operadores das máquinas abrem a produção de um posto e registam os dados relativos aos contextos de produção, paragens e rejeições, complementando os dados adquiridos de outras fontes, nomeadamente dos sinais recolhidos das máquinas e das tabelas de bases de dados do ERP.

Em termos de volume do módulo "Shopfloor", foram configuradas 11 áreas (Figuras G-1 e G-2 do Anexo G), uma área por setor do chão de fábrica, acrescido de 2 áreas para a visão global da fábrica (Figura G-3 do Anexo G) e dos setores – exemplo do setor da quinagem representado na Figura G-4 do Anexo G. Cada área de setor tem uma página por máquina integrante do mesmo, perfazendo um total de 54 páginas para 54 máquinas. A Figura 4.6 apresenta o exemplo de uma página de “Shopfloor” para uma máquina pertencente ao setor da quinagem. Cada página apresenta 2 KPIs - OEE e Performance - bem como informação sobre o estado da produção atual das máquinas. Foram configurados os acessos a estes módulo para todos os 250 colaboradores da empresa.

Este módulo possui um grau de customização bastante elevado, permitindo configurar o *layout* e a informação apresentada de acordo com necessidades específicas do cliente. Para tal, são criados *widgets*, que, por sua vez, contém *tags*. Algumas *tags* são alimentadas pela informação proveniente das máquinas ou do sistema ERP, enquanto que outras podem ser editadas manualmente, como o tipo e motivo das rejeições e paragens. No total, foram configuradas 16 *tags* por cada página de equipamento.



Figura 4.6 – Exemplo de uma Página do Módulo “Shopfloor”

Há dois cartões distintos no módulo “Shopfloor”: o cartão OP e o cartão Turno.

O cartão OP apresenta informações em tempo real relacionadas com a produção atual numa determinada máquina, nomeadamente as informações de caracterização da OP em produção (código, artigo/referência e operação), as quantidades produzidas e rejeitadas, os tempos de paragem e produção, e dois KPIs: o OEE e a performance. As cores atribuídas ao cartão OP estão relacionadas com o sistema Andon, já implementado de forma simplificada no chão de fábrica através de sinais luminosos – Figura 4.7 – de forma a que, cada vez que se regista uma paragem, a cor dos cartões mude de acordo com o tipo de paragem em questão. O código de cores implementado é detalhado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Código de Cores do Cartão OP

Estado do Equipamento	Cor do Cartão OP
Produção	Verde
Paragem “Processo”	Magenta
Paragem “Programada”	Azul
Paragem “Falha”	Amarelo
Equipamento Desligado	Cinzento
Paragem Injustificada	Vermelho



Figura 4.7 – Sinal Luminoso no Chão de Fábrica da Empresa Cliente

Por sua vez, o cartão Turno apresenta informações relacionadas com o turno de produção atual, particularmente o OEE do turno e o seu objetivo, as quantidades produzidas e rejeitadas do turno e os tempos de produção e paragem do turno. As cores do cartão Turno são definidas através da comparação do valor do OEE para o turno atual com o respetivo objetivo. Este código de cores está sumariado na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Código de Cores do Cartão Turno

Valor OEE Turno Atual	Cor do Cartão Turno
Acima do Objetivo	Verde
Abaixo do objetivo	Amarelo
Cor após <i>reset</i> turno e não havendo OPs em produção	Cinzento

Numa empresa OEM na indústria automóvel, o tempo de reação é chave, devido ao elevado grau de integração entre as linhas de produção do fornecedor e o produtor. A empresa cliente tem, por isso, um foco particular neste tópico. Como tal, para além da monitorização da produção em tempo real em cada máquina, setor e na fábrica, disponibilizado pelo módulo “Shopfloor”, a solução prevê que os utilizadores possam configurar alertas com *triggers*

específicos para que possam ser avisados quando um determinado estado no chão de fábrica sofre uma mudança. Os alertas permitem, por exemplo, que, quando o OEE do turno atual muda de estado para abaixo/acima do objetivo definido, determinados utilizadores possam ser notificados via plataforma ou *email*. O mesmo pode ser configurado com o estado do cartão OP, nomeadamente o aviso de paragens de qualquer natureza. A Figura 4.8 ilustra um exemplo de uma notificação na plataforma acerca da paragem de produção devido a uma avaria de uma máquina com subsequente necessidade de troca e *set up* da ferramenta.

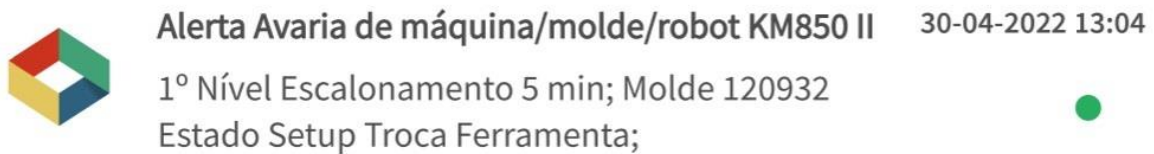


Figura 4.8 – Exemplo de Alerta de uma paragem para *set up*

- **Módulo “Relatórios”**

O módulo “Relatórios” pode gerar relatórios com base nos KPIs que a plataforma monitoriza em tempo real, de forma a apresentar a o desempenho de um equipamento, setor ou até, globalmente, da fábrica, oferecendo informação útil aos gestores, para que estes possam medir o pulso da produção no chão de fábrica, em vários horizontes temporais (turno, dia, semana, mês). Desta forma, podem ser usados nos momentos relevantes, tais com reuniões, eliminando atividades que não têm valor acrescentado, como a criação de relatórios manualmente. Este módulo também permite colaboração entre utilizadores, visto que estes podem comentar no relatório, indexando tais comentários aos relatórios para posterior consulta. Foram configurados 2 relatórios para a empresa cliente - “Controlo de Produção”, um relatório diário que analisa 6 KPIs, e “Resumo Eficiência Fábrica”, um relatório semanal que faz a monitorização de 4 KPIs – o OEE e os seus componentes. A Figura 4.9 ilustra um exemplo do um relatório “Controlo de Produção”.

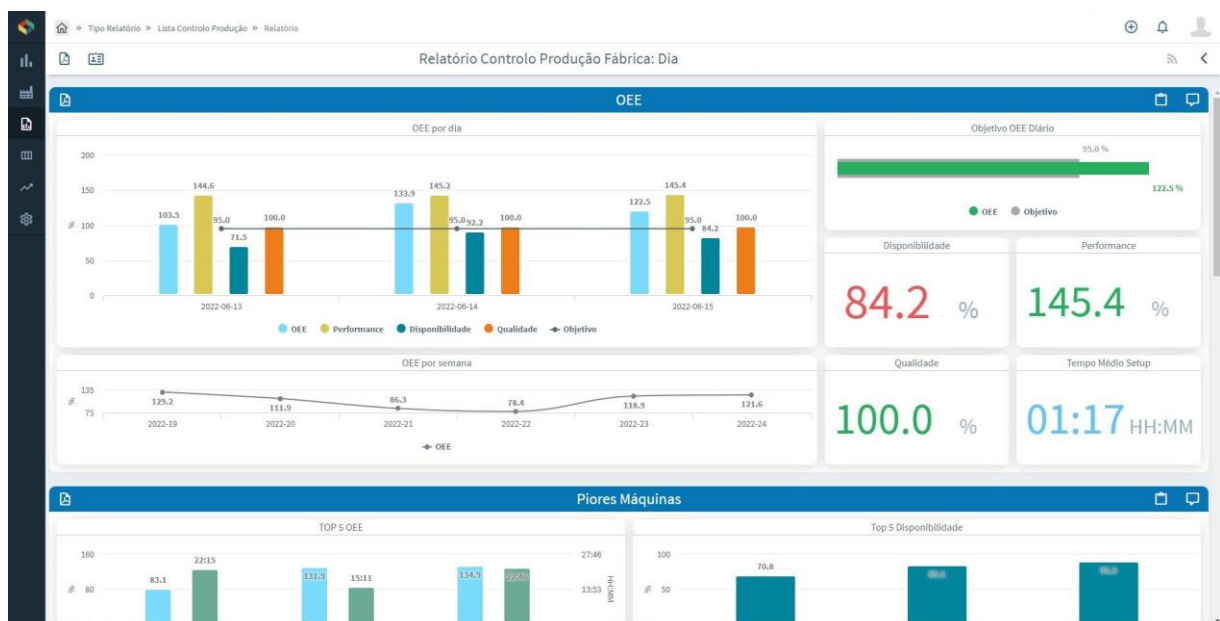


Figura 4.9 – Exemplo de um Relatório produzido automaticamente na plataforma

O anexo H apresenta o relatório de resumo de eficiência do chão de fábrica, produzido pela plataforma com um período de análise semanal para a empresa cliente.

4.4.3 Transparência

A fase da transparência deste projeto configura-se com uma ponte entre os KPIs calculados anteriormente e as iniciativas de melhoria contínua na forma de projetos, ações e tarefas contempladas na solução apresentada. Tais iniciativas são configuradas em torno de uma equipa responsável, promovendo a colaboração e visibilidade destas pelos vários setores da empresa. Como tal, os restantes módulos desta solução possibilitam a colaboração em melhoria contínua, facilitando a identificação de problemas e *bottlenecks* nas linhas de produção. O objetivo deste componente da solução é fomentar a criação de iniciativas de melhoria com base nos KPIs e que os gestores possam tomar decisões baseadas nos mesmos.

Para esse efeito, foi implementado o módulo *Kanban*, composto por iniciativas de melhoria contínua, de acordo com o ciclo PDCA, representado na Figura 4.10. Os utilizadores podem criar e gerir conteúdo, desde ações e tarefas simples, até projetos mais abrangentes, com vários fluxos de trabalho relacionados com auditorias, manutenção preventiva e ineficiências internas. Foram configuradas 4 áreas, correspondentes ao ciclo PDCA – *Plan*, *Do*, *Check* e *Act*, para um total de 250 colaboradores.

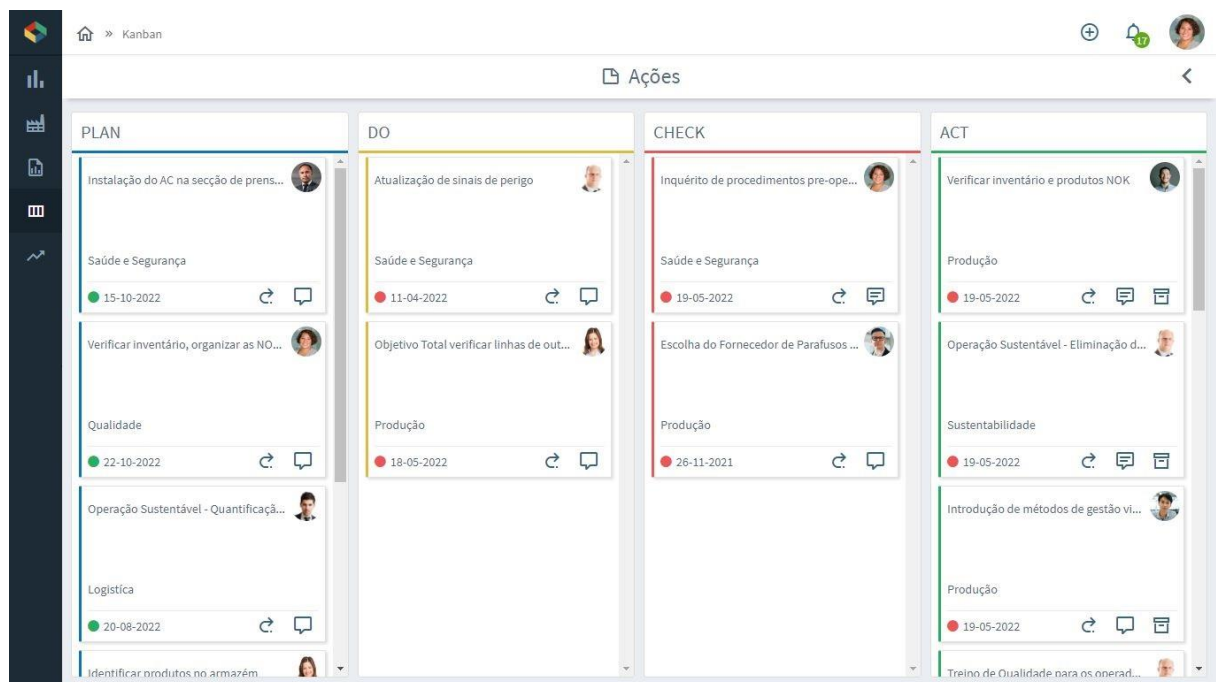


Figura 4.10 – Módulo do “Kanban”

Os projetos de melhoria contínua, tal como os restantes fluxos de trabalhos, são criados e geridos no módulo “Melhoria”, permitindo a colaboração entre todos os 250 trabalhadores, independentemente do seu setor de trabalho. Este módulo apresenta a configuração de 5 áreas: auditorias com metodologia *lean* 5S, gestão diária, ações corretivas, inspeções de qualidade e oportunidades (Figura J-1 do Anexo J). Cada área é composta por projetos e ações criados pela empresa cliente. Os projetos têm 6 separadores – informação geral, comentários, causas e efeitos, ações, monitorização e fecho. Em particular, no separador da monitorização, representado na Figura J-2 do Anexo J, foram configurados 15 KPIs, de forma a que empresa cliente selecione os indicadores que pretende avaliar ao longo da implementação do projeto. Estes separadores estão dependentes da natureza do projeto, podendo estes apresentar o

conteúdo de um relatório A3, como o exemplo da Figura 4.11 ou 8D. A Figura 4.11 representa um exemplo de um projeto. O estado atual do projeto é visível, no âmbito do ciclo PDCA, no canto superior esquerdo da plataforma. O anexo I apresenta um exemplo de projeto de melhoria contínua do tipo A3, composto pelo diagrama Ishikawa (Figura I-1), o relatório PDCA (Figura I-2) e o relatório A3 (Figura I-3), criados automaticamente pela plataforma através das informações introduzidas pelos colaboradores.

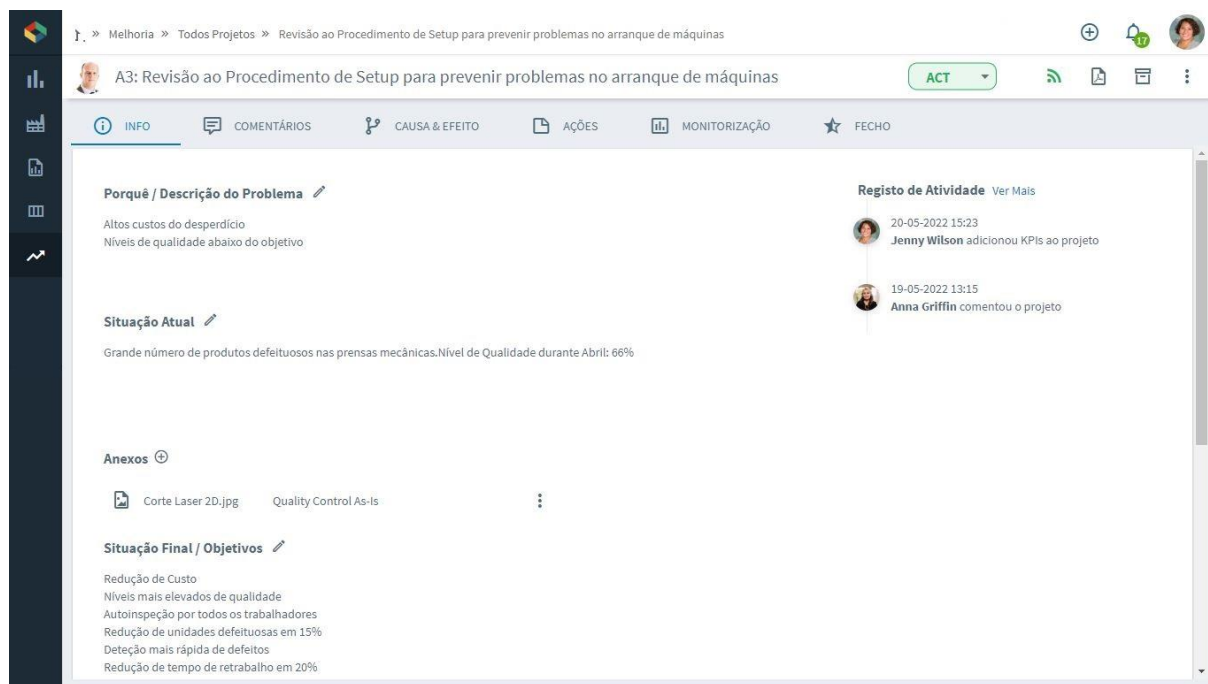


Figura 4.11 – Projeto de Melhoria do tipo A3

4.4.4 Gestão da Mudança

Ao longo do projeto, foi atribuída uma atenção particular às estratégias relacionadas com a gestão da mudança, na forma da literatura produzida por Kotter (1996). Foram acordadas várias medidas e metodologias para que, desde o arranque do projeto, houvesse confiança mútua de ambas as partes, bem como um canal de comunicação claro, que promovesse a proatividade e estabelecesse as responsabilidades que cada interveniente no projeto.

Em primeiro lugar, aquando da reunião de arranque do projeto, foi solicitado que fosse definida uma coligação orientadora do lado da empresa cliente, com os responsáveis pelo acompanhamento e implementação do projeto, de forma a desenvolver uma visão e estratégia para o projeto em conjunto e comunicar essa mesma visão.

Em segundo lugar, ao instituir um canal de comunicação eficiente entre a proGrow e a empresa cliente, nomeadamente com a equipa responsável pelo projeto e os demais colaboradores, a proGrow estabeleceu a importância e urgência desta iniciativa de transição digital, de forma a sublinhar a necessidade de atingir a mudança. Esta visão foi comunicada internamente na empresa cliente e o *feedback* dos vários intervenientes foi tido em conta. Foi particularmente relevante a contribuição dos operadores dos equipamentos industriais, aquando das visitas ao chão de fábrica, dando a conhecer os aspetos positivos e negativos dos procedimentos comuns de registo e monitorização da produção. Esta opinião foi crucial para que fosse possível desenvolver a solução apresentada na presente dissertação. O contacto entre a empresa cliente e a proGrow foi constante, havendo sempre a oportunidade para esclarecimentos adicionais e situações que foram surgindo com o decorrer do projeto,

nomeadamente alterações e melhorias às propostas de solução apresentadas. Este hábito, formado desde o início do projeto, materializado através de reuniões semanais, complementadas por reuniões pontuais a pedido do cliente ou da proGrow, foi crucial para o alinhamento de expectativas e ultrapassagem de potenciais obstáculos.

Adicionalmente, ganhos a curto prazo foram constantes e visíveis para a empresa cliente, de acordo com o alcance e cronograma do projeto. Isto inclui maquetes e protótipos, bem como a disponibilização incremental de ferramentas e funcionalidades da plataforma à medida que estas ficavam finalizadas e prontas para lançamento. O uso de protótipos e maquetes visuais ajudou a concretizar em algo físico uma solução que pode ser vaga e difícil de visualizar, deixando pouco espaço para a subjetividade de interpretação. O melhor exemplo deste método prende-se com a discussão das interfaces propostas para o módulo “Shopfloor”. A informação apresentada nestas interfaces requereu o *input* da empresa cliente. As reuniões ajudaram a definir claramente o contexto de produção em que a plataforma está incluída e quais as informações necessárias para os operadores das máquinas, de forma a evitar retrocessos numa fase posterior do projeto. Os exemplos de maquetes das páginas do “Shopfloor” dedicadas à vista da fábrica e dos setores podem ser consultados nas Figuras F-1, F-2 e F-3 do Anexo F. Em comparação, as Figuras G-3 e G-4 do Anexo G apresentam a página, no seu formato final, após várias iterações das vistas fábrica e setor.

Por fim, o *pipeline* do projeto incluiu formação e *workshops* de utilização da plataforma para os utilizadores. O objetivo foi criar o hábito de utilizar a solução descrita na presente dissertação durante os processos de produção diários da empresa, de forma que surjam iniciativas de melhoria contínua sob o formato de projetos e ações/tarefas. A importância da formação reside, igualmente, na grande amplitude do intervalo das faixas etárias dos operadores no chão de fábrica. Enquanto que trabalhadores mais novos demonstram uma maior facilidade em adquirir os conhecimentos digitais necessários para utilizar a plataforma, os trabalhadores mais velhos apresentam maior resistência a este tipo de iniciativas. Através de formação e do contacto direto com os operadores, é possível garantir que ninguém parte de um ponto desvantajoso, sem ficar para trás nesta revolução da indústria 4.0 e todos os trabalhadores são incluídos no processo de digitalização do chão de fábrica.

Assim, foi possível garantir o cumprimento dos prazos e que a solução apresentada e implementada foi a adequada face às necessidades do cliente.

4.5 Impacto da Solução

A solução apresentada neste capítulo apresenta um impacto benéfico na empresa cliente em várias dimensões da sua operação. A melhoria obtida com a implementação deste projeto pode ser medida através da apreciação de alguns indicadores de performance da empresa. Precisamente, esta secção oferece uma visão da empresa cliente e dos resultados concretos alcançados após a implementação do projeto. Salienta-se que os valores dos indicadores apresentados ao longo desta secção tratam-se de estimativas ainda anteriores ao ritmo de cruzeiro, resultando de um esforço de aferição do impacto desde o primeiro instante da implementação, mas que, desde já, têm uma perspetiva muito positiva.

Em primeiro lugar, estima-se que a eficiência operacional da empresa aumente entre 1.0 a 1.5 pontos percentuais, com o OEE dos equipamentos a registar um incremento de 15%, resultante da disponibilidade, performance e qualidade produtiva. A visualização de indicadores em tempo real e o envio de alertas permite um aumento da:

1. Competitividade entre colaboradores e motivação para atingir os objetivos;
2. Tomada de decisão mais eficaz por parte da gestão;

3. Capacidade de reação por parte das equipas operacionais.

A redução do tempo de reação é um fator crucial na indústria automóvel, com uma integração entre os fornecedores e fabricantes de automóveis tão estreita e uma tolerância mínima para atrasos e defeitos. Deste modo, é possível uma rápida identificação de *bottlenecks* e ineficiências, de forma a otimizar os processos. A solução apresentada permitiu que a empresa cliente, na sua condição de OEM, e os seus clientes possam acompanhar a produção em, tempo real, tendo uma noção precisa do estado da produção em qualquer instante, o que possibilita uma compreensão do chão de fábrica mais abrangente e uma previsão do cumprimento de objetivos de produção mais fidedigna.

Por outro lado, a redução do trabalho administrativo é um dos principais benefícios da solução apresentada. A digitalização e centralização de dados permite uma redução do esforço de:

1. Recolha e centralização da informação da informação produtiva de cada posto;
2. Elaboração de relatórios e análises da eficiência das operações;
3. Gestão e centralização de incidentes e iniciativas de melhoria.

Efetivamente, verifica-se que houve uma redução do trabalho e tempo despendidos com o controlo de indicadores de performance da produção, reduzindo a alocação do tempo a tarefas sem valor acrescentado. Como tal, estima-se uma poupança de 1,6 a 2,2 FTEs (*Full-Time Equivalent*), por semana, na unidade fabril da empresa cliente, permitindo a realocação desse tempo a tarefas de maior valor acrescentado.

Por fim, a melhoria contínua é uma das áreas onde o impacto da solução é mais sentido, com um aumento entre 20% a 30% das poupanças com estas iniciativas face aos resultados atingidos previamente. A digitalização e centralização de ferramentas de melhoria contínua permite um aumento de:

1. Número de iniciativas de melhoria executadas;
2. Qualidade e rigor das iniciativas de melhoria;
3. Encorajamento da colaboração intersectorial;
4. Aproveitamento e replicação de boas práticas.

Conclui-se que a comunicação e colaboração entre setores internos do cliente foi melhorada, através da uniformização de registos de dados e de iniciativas de melhoria contínua.

Os objetivos traçados na introdução do projeto foram alcançados e os benefícios da implementação da solução apresentada são fáceis de ver. Com estes resultados, estima-se que dentro de 2 anos a empresa cliente recupere o investimento efetuado no desenvolvimento deste projeto.

5 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

O caminho de adoção e implementação da transição digital no contexto da indústria 4.0 é longo e difícil, especialmente quando se fala de um panorama de iniciação e de uma realidade industrial onde a maturidade tecnológica é baixa. Porém, a 4ª revolução industrial está a tomar lugar, e as empresas devem adaptar-se a esta nova realidade, sob pena de perderem vantagem competitiva e a capacidade de produzir para um mercado industrial de manufatura cada vez mais focado em reduzir custos, à medida que aumenta a produtividade. O ritmo de mudança frenético com que novas tecnologias são desenvolvidas e lançadas faz com que muitas empresas se possam sentir à deriva e não saibam como começar e acompanhar a transição digital.

Esta dissertação configura-se como um guia prático de aplicação de conceitos de fábrica inteligente, nomeadamente de digitalização do chão de prática, na indústria automóvel. O trabalho desenvolvido ao longo deste projeto, em boa parte, ajuda a traduzir conceitos teóricos e já estudados com profundidade em *guidelines* práticas de como realmente captar sinais de máquinas, calcular indicadores de performance e visualizá-los em tempo real, permitindo assim aos implementadores terem uma noção mais clara e evidente dos desafios, obstáculos e pontos cruciais durante a execução de um projeto nesta área, que naturalmente são menos contemplados em estudos de natureza mais teórica.

Por outro lado, em alguns aspetos inovadores nesta área, a literatura revista é mesmo incipiente. Destaca-se, por exemplo, a particularidade do aspeto da integração entre os sistemas de informação tradicionais ERP/MES e outras plataformas de IoT, relativamente ao qual a literatura está principalmente focada nos aspetos gerais da interligação entre os sistemas tradicionais, como as suas vantagens e tipos de dados e informação que podem ser partilhadas. Todavia, existe uma dimensão mais relacionada com a aplicação da arquitetura da informação de sistemas recentes, envolvendo dados mais técnicos acerca da interligação entre os sistemas (API, base de dados, servidor OPC, etc.) e a estruturação em torno de fontes e destino de dados que foi explorada e trabalhada na presente dissertação, da qual resultam pistas para investigação posterior no sentido de aprofundar aspetos técnicos e práticos de como padronizar a ligação técnica entre sistemas implementados numa empresa, entre ERP/MES a plataformas menos convencionais como plataformas IoT. Considera-se relevante a investigação neste campo, de forma a demonstrar como se pode proceder ao uso de modelos de arquitetura da informação, como o *standard* ISA-95, para contribuir e preparar casos de uso reais e práticos de interoperabilidade entre sistemas de informação empresariais. Mesmo assim, conclui-se que a sobreposição de funções de sistemas informáticos pode ser supérflua e dar origem a uma nova definição do âmbito, alcance e objetivo de sistemas tradicionais como o ERP e o MES, que acomode a integração de novos tipos de plataformas.

Para conseguir obter sucesso no processo de digitalização do chão de fábrica, foi importante, em primeiro lugar, perceber com detalhe a situação inicial em que a empresa se encontrava, quer em termos de fluxo de trabalho, quer em termos de maturidade tecnológica.

Isto passou por documentar as estações de trabalho, as máquinas, os processos de troca de informação entre setores e o registo de indicadores de produção.

A solução implementada apresenta várias áreas de intervenção. Em primeiro lugar, foi abordada a conectividade dos equipamentos e digitalização dos seus sinais, bem como a estruturação das fontes de dados da plataforma. Em segundo lugar, foi solucionada a necessidade de visualização da informação recolhida no chão de fábrica, de uma forma intuitiva e de fácil interpretação, através da visibilidade de indicadores e do estado de produção. Seguidamente, trabalhou-se na transparência da solução, manifestada na necessidade de fornecer ferramentas que possibilitem a ação face aos indicadores calculados, na forma de melhoria contínua. Na totalidade, a solução requereu a configuração de 5 módulos (“KPIs”, “Shopfloor”, “Relatórios”, “Kanban” e “Melhoria”), 54 equipamentos, 15 KPIs e 2 relatórios, entre outras áreas e ferramentas.

Esta solução foi obtida através de um processo iterativo, em contacto constante com todos os intervenientes do projeto, tendo em conta o *feedback* recolhido, desde os operadores das máquinas até ao CEO da empresa cliente. A delineação de responsabilidades, prazos e entregáveis, a consideração de ganhos de curto-prazo, e a utilização de protótipos e maquetes garantiu que foram evitados obstáculos desnecessários durante o decorrer do projeto, promovendo uma validação de dados orgânica e uma comunicação franca e eficaz. Isto permite que haja confiança do cliente na solução apresentada e implementada e garante resistência mínima possível ao processo de mudança.

Os objetivos traçados na introdução do projeto foram alcançados e os benefícios da implementação da solução apresentada são fáceis de ver. Houve uma redução do trabalho e tempo despendidos com o controlo de indicadores de performance da produção, reduzindo a alocação do tempo a tarefas sem valor acrescentado. A possibilidade de ver os dados do chão de fábrica em tempo real, bem como a configuração de alertas acerca dos dados recolhidos e dos KPIs calculados, fez com que fosse possível a redução do tempo de reação das equipas de produção. Este fator é chave na indústria automóvel, com uma integração entre os fornecedores e fabricantes de automóveis tão estreita e uma tolerância mínima para atrasos e defeitos. A solução apresentada permitiu que a empresa cliente, na sua condição de OEM, e os clientes com os quais trabalha possam monitorizar e gerir as máquinas e sistemas remotamente, fornecendo informação sobre o processo produtivo em tempo real entre o mundo real e virtual. Deste modo, é possível identificar *bottlenecks*, otimizar processos e inovar com o crescimento de novos produtos. A comunicação e colaboração entre setores internos do cliente foi melhorada, através da uniformização de registos de dados e de iniciativas de melhoria contínua. Por fim, a integração entre os sistemas de informação ERP e MES tradicionais já existentes no cliente com a plataforma IoT permitiu um fluxo de informação entre estes claro e estruturado, sem que houvesse uma disrupção substancial daquilo que é o hábito dos trabalhadores aos sistemas e seus aos procedimentos familiares.

Contudo, devido ao alcance definido no início do projeto e horizonte temporal limitado, há espaço para exploração e integração de melhorias a curto prazo na solução apresentada, bem como sugestões de melhoria e avanço mais abrangentes na adoção do paradigma da solução apresentada.

A nível de melhorias e automação a curto prazo, há tecnologias que permitem a identificação dos dados de produção, usando um leitor de códigos de barras, que permitiriam fazer o preenchimento automático dos contextos de produção. Para além disso, há tecnologias e sensores que possibilitam, automaticamente, detetar defeitos e até mesmo as causas dos defeitos. Todavia, no âmbito deste projeto, tais tecnologias não foram integradas ou consideradas. Isto eliminaria a necessidade da inserção manual destes dados, que, por muito intuitivo e fácil que seja, são atividades sem valor acrescentado que gastam tempo. Esta limitação da solução apresentada pode ser solucionada através de desenvolvimentos a curto-

prazo, tirando proveito da flexibilidade e *future proofing* da plataforma. À medida que a empresa cliente se compromete com o paradigma da indústria 4.0 e a fábrica inteligente, estas capacidades podem ser adicionadas no futuro.

Para além disso, seria interessante explorar novas etapas de automação e investimento na transição digital. A solução apresentada na presente dissertação propõe que se veja e perceba os dados, de forma a auxiliar a tomada de decisão humana. Porém, seria do interesse de todas as partes envolvidas executar o próximo passo, relacionada com a previsão e adaptabilidade. Neste passo, as máquinas tomam as suas próprias decisões e adaptam-se ao ambiente de produção de acordo com a informação em tempo real. As palavras-chave desta fase serão “prever” e “auto-otimizar”. As máquinas deixam de ser equipamentos passivos no fluxo de trabalho, e passam a reagir aos dados que recebem da plataforma, fruto da análise efetuada aos dados que elas próprias enviaram para a plataforma. Este é um grau de automação bastante avançado, com vantagens e desvantagens, que devem ser devidamente ponderadas, em que a sua implementação deverá acontecer em ambientes industriais de uma maturidade tecnológica francamente avançada.

Referências

- Agrawal, M., Eloot, K., Mancini, M., & Patel, A. (2020). *Industry 4.0: Reimagining manufacturing operations after COVID-19*. McKinsey & Company. Consultado a 23/05/2022 em <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-40-reimagining-manufacturing-operations-after-covid-19>
- Amer, W., Ansari, U., & Ghafoor, A. (2009). Industrial Automation using Embedded Systems and Machine-to-Machine, Man-to-Machine (M2M): Connectivity for Improved Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Conference Proceedings - 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 4450-4454.
- Appelbaum, S., Habashy, S., Malo, J.-L., & Shafiq, H. (2012). Back to the future: Revisiting Kotter's 1996 change model. *Journal of Management Development*, 31(8), 764-782.
- Aptean. (2020). *What Is MES (Manufacturing Execution System)?* Objective. Consultado a 05/06/2022 em <https://www.aptean.com/en-EU/insights/blog/what-is-mes>
- Aptean. (2022). *6 Reasons Why Integrating ERP With MES Is Vital For Agile Manufacturing*. Objective. Consultado a 05/06/2022 em <https://objt.com/en/blog/6-reasons-why-integrating-erp-with-mes-is-vital/#:~:text=An%20integrated%20ERP%2FMES%20system,aligns%20expectations%20closer%20to%20forecasts.>
- Armenakis, A. A., Harris, S. G., & Feild, H. S. (1993). Creating Readiness for Organizational Change. *Human Relations*, 46, 681-704.
- Atobishi, T., Gábor, S. Z., & Podruzsik, S. (2018). *Cloud Computing and Big Data in the context of Industry 4.0: Opportunities and Challenges*. International Institute of Social and Economic Sciences.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Bagheri, B., & Lee, J. (2015). *Big future for cyber-physical manufacturing systems*. Editor Design World Consultado a 13/05/2022 em <https://www.designworldonline.com/big-future-for-cyber-physical-manufacturing-systems/>
- Baur, C., & Wee, D. (2016). *Manufacturing's next act?*. McKinsey & Company. Consultado a 16/05/2022 em <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>
- BDO Digital. (2021). *Digital Transformation Report 2021 Middle Market Digital Transformation Survey*.
- Berić, D., Stefanović, D., Lalić, B., & Ćosić, I. (2018). The Implementation of ERP and MES Systems as a Support to Industrial Management Systems. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, 9, 77-86.

- Biedenbacha, T., & Soumlerholma, A. (2008). The challenge of organizing change in hypercompetitive industries: a literature review. *Journal of Change Management*, 8(2), 123-145.
- Blanc, P., Demongodin, I., & Castagna, P. (2008). A holonic approach for manufacturing execution system design: An industrial application. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(3), 315-330.
- Boga, I., & Ensari, N. (2009). The role of transformational leadership and organizational change on perceived organizational success. *The Psychologist-Manager Journal*, 12, 235-251.
- Bordia, P., Hunt, E., Paulsen, N., Tourish, D., & DiFonzo, N. (2004). Uncertainty during organizational change: is it all about control? *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 7(13), 345-365.
- Bose, C. (2019). *Dynamics of Problem Solving! PDCA, A3, DMAIC, 8D/PSP, Kaizen Blitz – what are the differences?* LinkedIn. Consultado a 22/05/2022 em <https://www.linkedin.com/pulse/dynamics-problem-solving-pdca-a3-dmaic-8dpsp-kaizen-bose-ii-lssbb/>
- Bradley, J., Barbier, J., & Handler, D. (2013). *Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$ 14.4 Trillion*. Cisco. Consultado a 12/05/2022 em https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoE_Economy.pdf
- Buer, S.-V., Strandhagen, J. W., Semini, M., & Strandhagen, J. O. (2021). The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 621-645.
- Bughin, J., Chui, M., & Manyika, J. (2015). *An executive's guide to the Internet of Things*. McKinsey & Company. Consultado a 15/05/2022 em <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/an-executives-guide-to-the-internet-of-things>
- Burnes, B. (1996). No such thing as a 'one best way' to manage organizational change. *Management Decision*, 34(10), 189-205.
- Buyya, R., Calheiros, R. N., & Dastjerdi, A. V. (2016). *Big Data: principles and paradigms*. Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Castro-Martin, A. P., Ahuett-Garza, H., Guamán-Lozada, D., Márquez-Alderete, M. F., Urbina Coronado, P. D., Orta Castañón, P. A., Kurfess, T. R., & González de Castilla, E. (2021). Connectivity as a Design Feature for Industry 4.0 Production Equipment: Application for the Development of an In-Line Metrology System. *Applied Sciences*, 11(3), 1312.
- Chen, G. (2010). *Internet of Things towards Ubiquitous and Mobile Computing*. Microsoft. Consultado a 15/05/2022 em research.microsoft.com/en-us/um/redmond/events/asiafacsum2010/presentations/guihai-chen_oct19.pdf
- Chenneveau, D., Mancini, M., & Shinghal, S. (2020). *A resilient return for Asia's manufacturing and supply chains?* McKinsey & Company. Consultado a 25/05/2022 em <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/a-resilient-return-for-asias-manufacturing-and-supply-chains>
- Dieffenbacher, S. F. (2022). What Is Digital Maturity, How To Measure, Tools & Models. *Digital Leadership*.
- Dolcemascolo, D. (2010). *Plan Do Check Act and A3*. EMS Consulting Group. Consultado a 22/05/2022 em <https://www.emsstrategies.com/dd100110article.html>

- Drtina, R., Hoeger, S., & Schaub, J. (1996). Continuous budgeting at The HON Company. *Management Accounting*, 77(7), 20-24.
- Elevli, S., & Elevli, B. (2010). Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE *Acta Montanistica Slovaca* 15, 95-101.
- Filip, F. C., & Marascu-Klein, V. (2015). The 5S lean method as a tool of industrial management performances. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 95.
- Finch, C. (2019). *Keys to Successful Shop Floor Digitization*. QAD. Consultado a 21/05/2022 em <https://www.qad.com/blog/2019/04/keys-to-successful-shop-floor-digitization#:~:text=Shop%20floor%20digitization%20is%20about,on%20their%20condition%20and%20availability>.
- Fisher, L. (1994). Total quality: hit or myth? *Accountacy*, 22(4), 50-51.
- Ford, R., Heisler, W., & McCreary, W. (2008). Leading change with the 5-p model: 'complexing' the swan and Dolphin hotels at Walt Disney world. *Cornell Hospitality Quarterly*, 49(2), 191-205.
- Frank, A. G., Dalenogareb, L. S., & Ayalac, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Gartner. (2022a). *Manufacturing Execution Systems Reviews and Ratings*. Peer Insights. Consultado a 05/05/2022 em <https://www.gartner.com/reviews/market/manufacturing-execution-systems>
- Gartner. (2022b). *Operational Technology (OT)*. Consultado a 25/03/2022 em <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/operational-technology-ot>
- Gates, D., Gampenrieder, E. L., & Mayor, T. (2018). *2018 Global Manufacturing Outlook*. KPMG. Consultado a 29/05/2022 em <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2018/06/global-manufacturing-outlook.pdf>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress.
- Greenwood, J. (1997). The Third Industrial Revolution: Technology, Productivity, and Income Equality. *Economic Review* 1999 Q2, 35(2), 02-12.
- Gregolinska, E., Khanam, R., Lefort, F., & Parthasarathy, P. (2022). *Capturing the true value of Industry 4.0*. Consultado a 06/07/2022 em <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/capturing-the-true-value-of-industry-four-point-zero>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29, 1645-1660.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928-3937.
- Jennings, A. (2019). *Visibility In Manufacturing: The Path To Industry 4.0*. Rugged Mobility for Business. Consultado a 21/05/2022 em <https://www.ruggedmobilityforbusiness.com/2019/11/visibility-in-manufacturing-the-path-to-industry-4-0/#:~:text=No%20matter%20where%20a%20plant,%2C%20shorter%20lines%20C%20less%20people>
- Jiang, J. R. (2018). An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(6), 1-15.

- Johnson, C. N. (2002). The Benefits of PDCA. *Back to Basics*.
- Joppen, R., Enzberg, S. v., Gundlach, J., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Prodecia CIRP*, 81, 759-764.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech – National Academy of Science and Engineering. Consultado a 09/05/2022 em https://ia801901.us.archive.org/35/items/FinalReportRecommendationOnStrategicInitiativeIndustrie4.0/Final%20Report_%20Recommendation%20on%20strategic%20initiative%20Industrie_4.0.pdf
- Khemapech, I., Duncan, I., & Miller, A. (2005). A survey of Wireless Sensor Networks. In: 6th Annual Postgraduate Symposium on the Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting, University of St. Andrews.
- Kingsbury. (2020). *The Kingsbury guide to Industry 4.0*. Kingsbury. Consultado a 09/06/2022 em https://www.kingsburyuk.com/app/uploads/2019/04/Kingsbury_Industry4.0_Whitepaper.pdf
- Kotter, J. P. (1996). *Leading Change*. Harvard Business School Press.
- Lachance, P. (2021). *An Introduction to IoT, CMMS and the ISA-95 Framework*. Brightly. Consultado a 07/07/2022 em <https://www.brightlysoftware.com/blog/introduction-iot-cmms-and-isa-95-framework>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58, 431-440.
- Lee, J., Kao, H.-A., & Bagheri, B. (2015). A Cyber Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing System. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- Manufuture High-Level Group. (2018). Manufuture Vision 2030: Competitive, Sustainable And Resilient European Manufacturing. *Manufuture Implementation Support Group*.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey & Company. Consultado a 12/05/2022 em <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>
- Margherita, E. G., & Braccini, A. M. (2020). Industry 4.0 Technologies in Flexible Manufacturing for Sustainable Organizational Value: Reflections from a Multiple Case Study of Italian Manufacturers. *Information Systems Frontiers*, 1-22.
- Marr, B. (2018). *What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone*. Forbes. Consultado a 12/05/2022 em <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=6711a6b39788>
- McCombes, S. (2019). *How to Write a Research Methodology in Four Steps*. Scribbr. Consultado a 25/05/2022 em <https://www.scribbr.com/dissertation/methodology/#:~:text=In%20your%20thesis%20or%20dissertation,and%20validity%20of%20the%20research.>
- Mell, P. M., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. NIST Special Publication Consultado a 13/05/2022 em <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>

- Mogos, M. F., Eleftheriadis, R. J., & Myklebust, O. (2019). Enablers and inhibitors of industry 4.0: Results from a survey of industrial companies in Norway. *Procedia CIRP*, 81, 624-629.
- Monostori, L. (2014). Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9-13.
- Moones, E., Vosgien, T., Kermad, L., Dafaoui, E. M., El Mhamedi, A., & Figay, N. (2015). PLM Standards Modelling for Enterprise Interoperability: A Manufacturing Case Study for ERP and MES Systems Integration Based on ISA-95. In M. van Sinderen & V. Chapurlat, *Enterprise Interoperability* Berlin, Heidelberg.
- Mordor Intelligence. (2022). Industry 4.0 Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022 - 2027). *Research and Markets, Mordor Intelligence*.
- Nelissen, P., & Selm, M. v. (2008). Surviving organizational change: how management communication helps balance mixed feelings. *Corporate Communications: An International Journal of Production Economics*, 13(3), 306-318.
- Oakland, J. S., & Tanner, S. (2007). Successful Change Management. *Total Quality Management*, 18(1-2), 1-19.
- Pandey, U. S., & Kavita, C. (2014). *Cloud Computing*. S. Chand Publishing.
- Peças, P., Encarnação, J., Gambôa, M., Sampayo, M., & Jorge, D. (2021). PDCA 4.0: A New Conceptual Approach for Continuous Improvement in the Industry 4.0 Paradigm. *Applied Sciences*, 11(16), 7671.
- Ron, A. J. d., & Rooda, J. E. (2005). Equipment Effectiveness: OEE Revisited. *IEEE Transaction semiconductor manufacturing*, 18, 190-196.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015, April 9, 2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Boston Consulting Group. Consultado a 12/05/2022 em https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries
- SAP. (2022). *What is an MES (manufacturing execution system)?* Business Technology Fundamentals. Consultado a 21/05/2022 em <https://www.sap.com/insights/what-is-mes-manufacturing-execution-system.html>
- Ströhle, J., Knizek, C., Spindelndreier, D., Heidemann, A., & Küpper, D. (2017). *When Lean Meets Industry 4.0 - the next level of operational excellence*. Consultado a 22/05/2022 em <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0>
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: A Korea perspective. *Technological Forecasting & Social Change* 132, 40-45.
- Vijayaraghavan, A., Sobel, W., Fox, A., Dornfeld, D., & Warndorf, P. (2008). *Improving machine tool interoperability using standardized interface protocols: MT connect*. Consultado a 15/05/2022 em <https://escholarship.org/uc/item/4zs976kx>
- Vogel-Heuser, B., Lee, J., & Leitão, P. (2015). Agents enabling cyber-physical production systems. *at - Automatisierungstechnik*, 63(10), 777-789.
- Vorne, I. (2021). *Overall Equipment Effectiveness*. Consultado a 21/05/2022 em <https://www.oeo.com/>
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1).

- Warnhoff, K., & Lareir, P. d. P. (2019). Skill Development on the Shop Floor - Heading to a Digital Divide? *Proceedings of the Weizenbaum Conference 2019 "Challenges of Digital Inequality - Digital Education*, 145-154.
- Wellener, P., Shepley, S., Dollar, B., Laaper, S., Manolian, H. A., & Beckoff, D. (2019). *Capturing value through the digital journey*. 2019 Deloitte and MAPI Smart Factory Study, Technical Report, Deloitte Insights. Consultado a 12/05/2022 em <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/about-deloitte/articles/press-releases/2019-deloitte-and-mapi-smart-factory-study-capturing-value-along-the-digital-journey.html>
- Wermann, J., Colombo, A. W., Pechmann, A., & Zartea, M. (2019). Using an interdisciplinary demonstration platform for teaching Industry 4.0. *9th Conference on Learning Factories 2019*, 31, 302-308.
- Yang, S., Bagheri, B., Kao, H.-A., & Lee, J. (2015). A Unified Framework and Platform for Designing of Cloud-Based Machine Health Monitoring and Manufacturing Systems. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 137(4).
- Yen, C.-T., Liu, Y.-C., Lin, C.-C., Kao, C.-C., Wang, W.-B., & Hsu, Y.-R. (2014). Advanced manufacturing solution to industry 4.0 trend through sensing network and Cloud Computing technologies. *2014 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering(CASE)*, 1150-1152.

ANEXO A: Plantas dos Pavilhões do Chão de Fábrica da Empresa Cliente

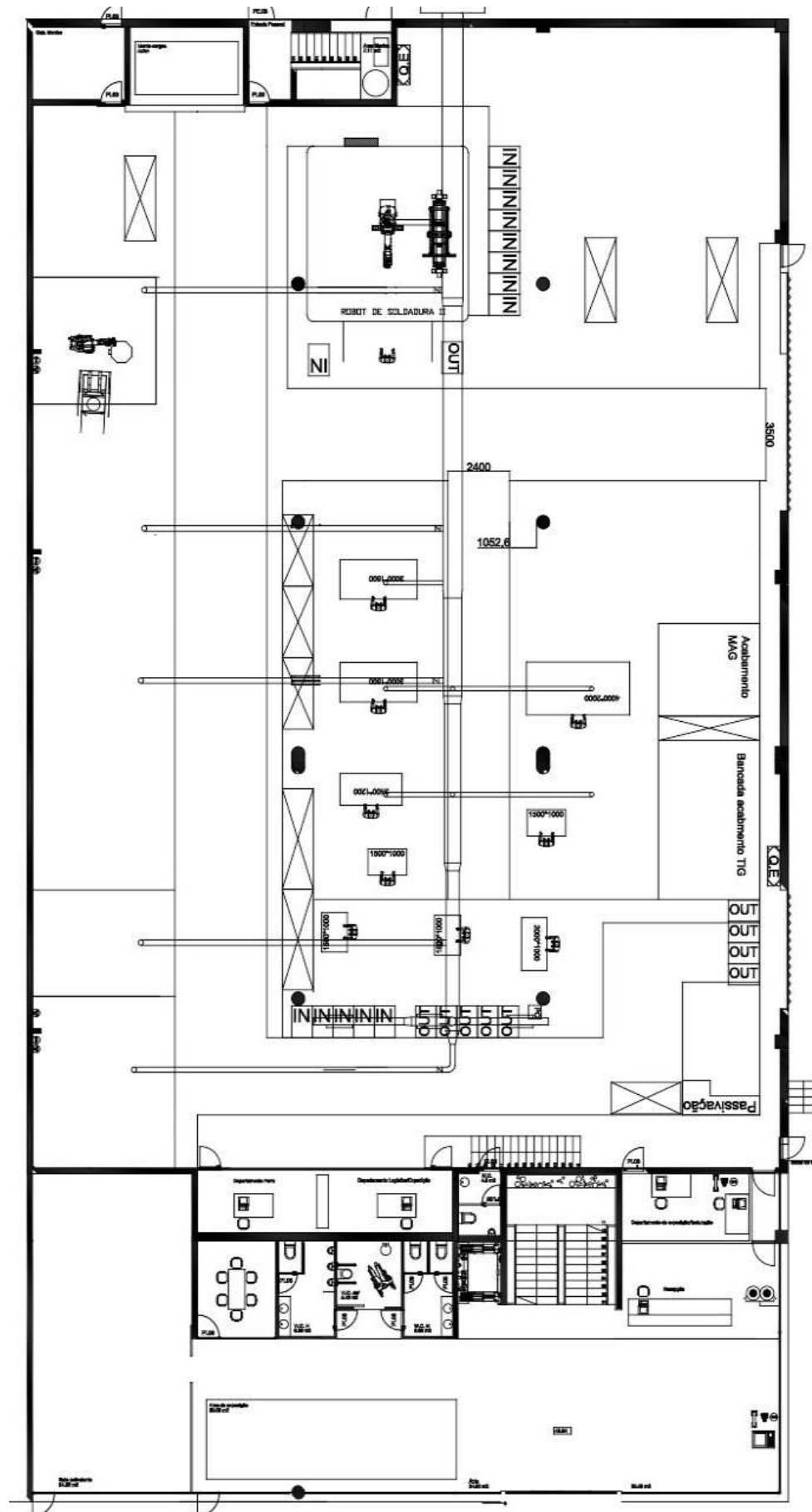


Figura A-1 – Planta do Pavilhão Cave do Chão de Fábrica

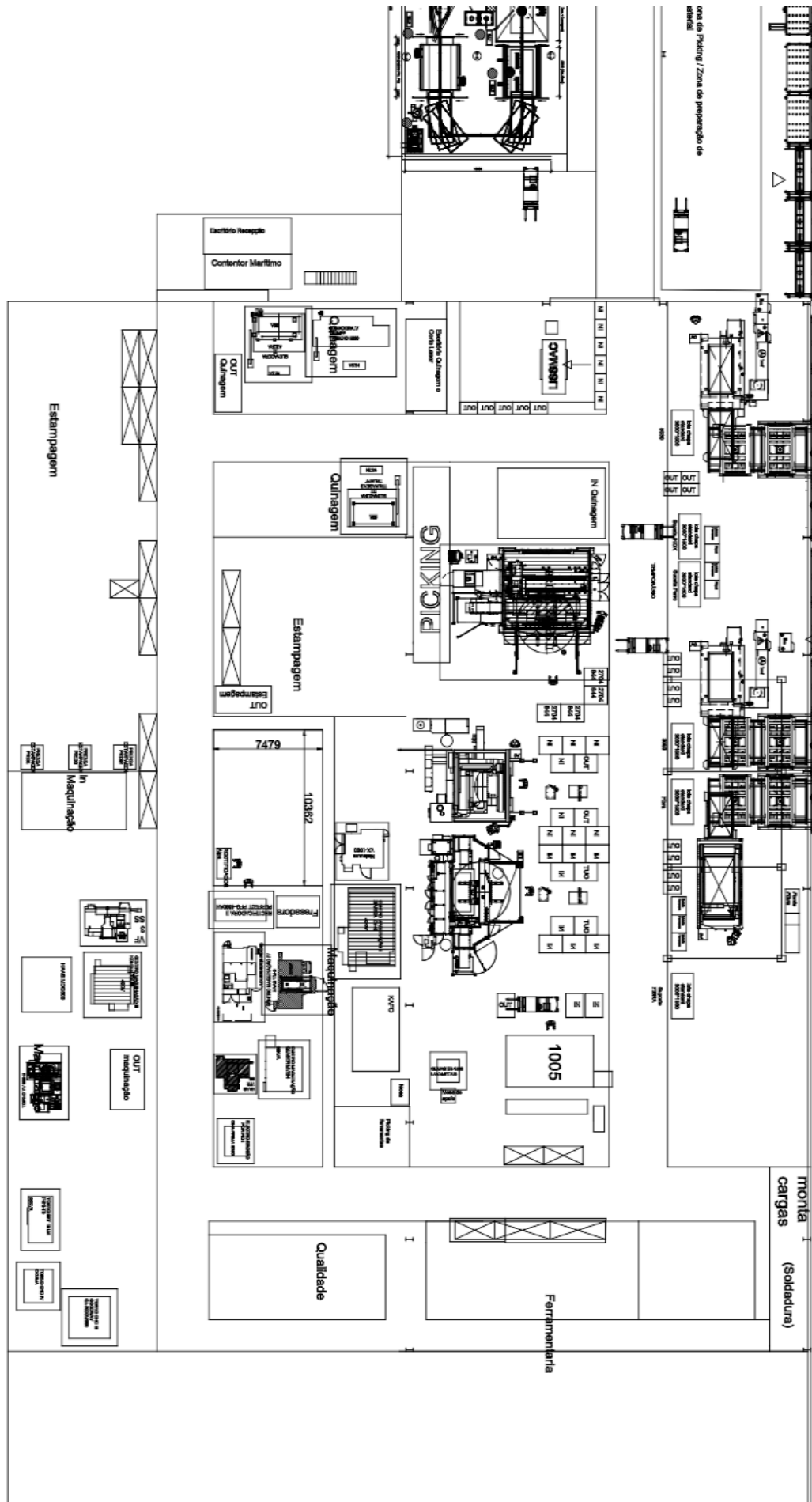


Figura A-2 – Planta do Pavilhão 1 do Chão de Fábrica

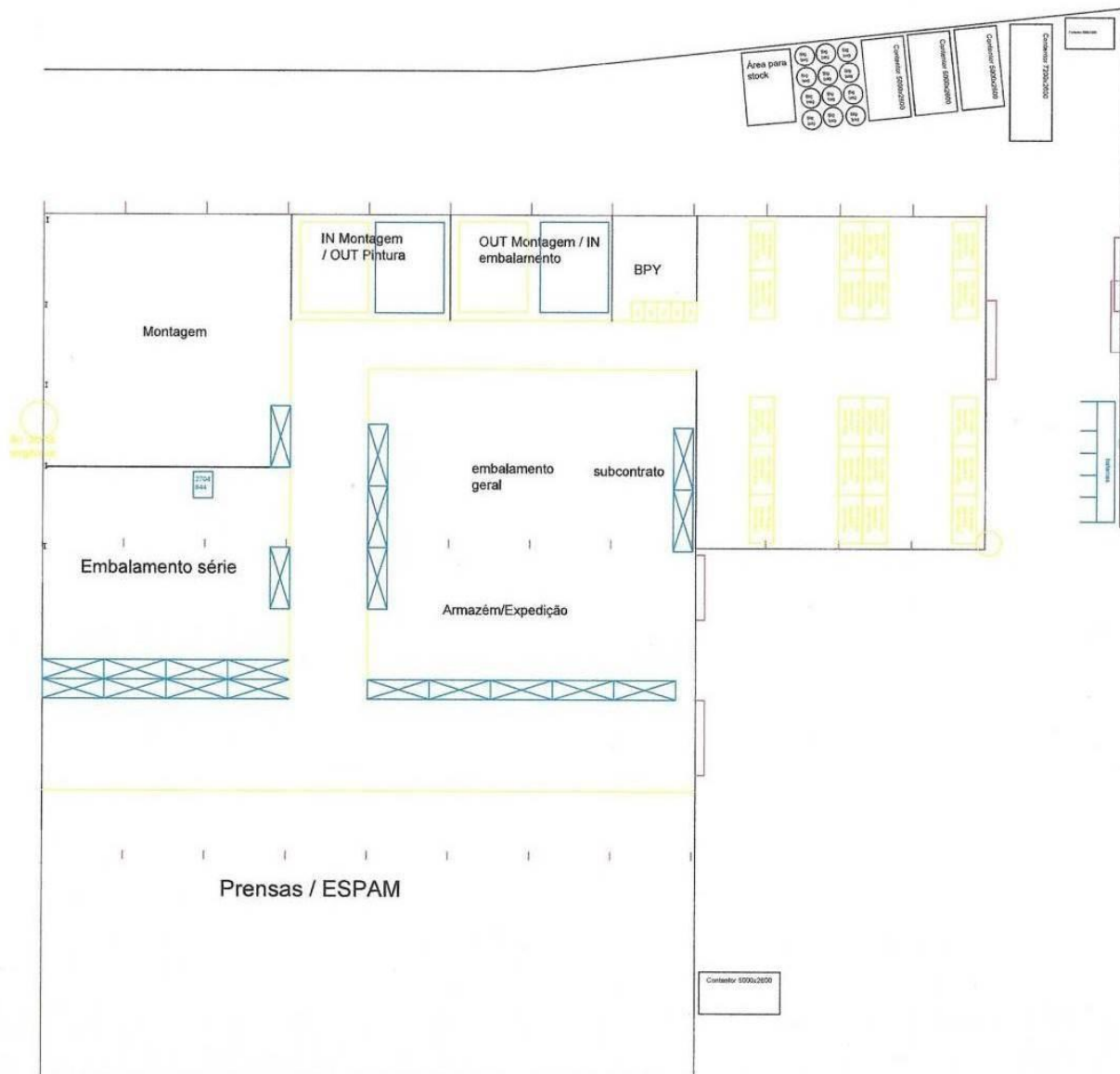


Figura A-3 – Planta do Pavilhão 2 do Chão de Fábrica

ANEXO B: Interfaces do MES implementado no Chão de Fábrica da Empresa Cliente

Terminal de Produção

192.168.100.33

Buscar OF Buscar OC Buscar OF Agrup. Buscar OF Agrup. Consultar Qtd. (Ab.) Qtd. Hds. Pnd. Hds. Qds. Anovar Trb. C. Monitorar Setup Calc. Inf. Geral Stock Estado Máq. Requisições Terminar

Indique a Ordem de Fabrico...

Ordem Fabrico: Artigo: Un. Negocio: Encomenda: Sub-Ofs

OF: OF Pa:

Qr. Fabrico	Artigo	Qtd.	Dt. Ent.	Op.	Descrição	CT	Descrição	TP Total	TP Unit.	T Prep.	Est.	Qtd. Fab.
00695537	4118171A	2	01-04-2022	PL2	PRODUTIVIDADE LASER 2D	D5101	Software Progra	4m00s	5m00s	0m00s	F	0
00695538	4118H18A	2	01-04-2022	CL2	CORTE	C2D05	Corte Laser 2D (	6m20s	0m40s	5m00s	F	2
00697136	3159H01B0CAA	1	01-04-2022	QA	QUEBRAR ABERTAS (MANUAL SACC07	EPH02	Quebra Abertas	3m00s	2m00s	0m00s	F	2
00697153	3159H01B0CAA	1	01-04-2022	EST	ESTABILIZAÇÃO	EPH02	Pressa Hds. B (I	24m60s	5m00s	15m00s	F	2
00698174	3159947A0CAA	4	01-04-2022	MC	EMBALAMENTO	CEM01	Embalamento G	15m00s	2m24s	5m00s	CA	0
00698176	3159947A0CAA	4	01-04-2022					15m00s	2m24s	5m00s	CA	0
00698177	3159197A0BAA	4	01-04-2022									
00698779	3159620A0BAA	20	01-04-2022									
00698780	3159620A0CAA	20	01-04-2022									
00698783	3159087A0CAA	15	01-04-2022									
00698789	3159017A0CAA	10	01-04-2022									
00699042	3159H85A	5	01-04-2022									
00699047	3159H85A0CAA											
00699048	3159H85A0DAA											
00699051	3159H85A0DAA											
00699052	3159948A0BFA											
	Cover B 017668 Red											

Indique o Centro de Trabalho...

Local: Centro Trabalho: Descrição: Descrição

Código	Local	Centro de Trabalho	Descrição
ENG8	Embalamento	CEM01	Embalamento Geral
ENGPROG	Embalaria Programação		
ENGPROJ	Embalaria Projeto		
EOA	EOA		
EST	Estampagem		
ESTS	Estampagem Série		
FER	Ferramentaria Centros/For		
FERDIV	Ferramentaria Diversos		
FERPROG	Ferramentaria Programaçã		
FERPRG	Ferramentaria Progressivas		
GRL	Gear Box		
GRL	Geral		
L3D	Impressão 3D		
L2D	Laser 2D		
L3D	Laser 3D		
LASDIV	Laser Diversos		
LASPROG	Laser Programação		
MQD	Muro Qualidade		

Figura B-1 – Secção de Seleção de OPs para produção no MES da empresa cliente

Terminal de Produção

Indique as Quantidades...

Ordem Fabricao: 00104 - André Joaquim Moura da Costa Alves | CENTRO TRABALHADO: PPMT - Prensa Hidr. 1 (Máquina 790) | GRUPO OPS: 3342

OF	Artigo	Qt Prev.	Já Reg.	Qt Boa	Qt Rej.	Paleta
00572461	3397615A	34000	35200	0	0	
00576302	3397495A	3500	2263	0	0	

Paleta: 0

Qt. Boa = 0

Qt. Boa = Qt. Prevista

Quantidade Boas:

Quantidade Rejeitada:

Motivo(s) Rejeição:

Observações:

Registrar

Cancelar

1 2 3

4 5 6

7 8 9

C 0

Figura B-2 – Secção de Gestão de Fabrico de uma OP no MES da empresa cliente

ANEXO C: Diagrama de Integração de funcionalidades ERP/MES/proGrow

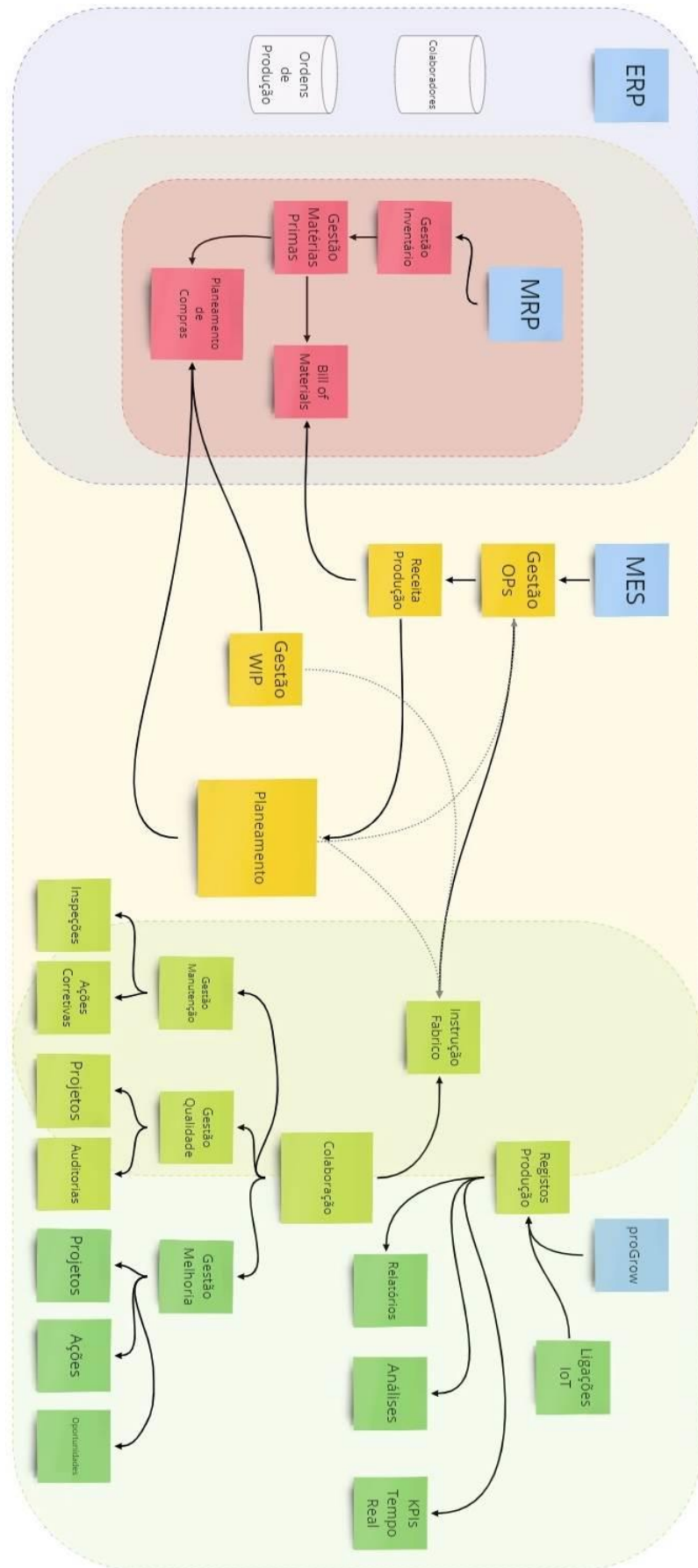


Figura C-1 – Diagrama de Funcionalidades dos ERP/MES vs. proGrow

ANEXO D: Tipos/Motivos de Paragens e de Rejeições de Peças Produzidas e respetivas interfaces de registo

Tabela D-1 – Tabela com os Tipos e Motivos de Paragem no Chão de Fábrica

Tipo de Paragem	Motivo de Paragem	Categoria da Paragem
Processo	Ajuste Processo	Não Planeado
	Set Up	Planeado
	Autocontrolo	Planeado
	Movimentação cargas	Não Planeado
	Limpeza peças	Não Planeado
Falha	Avaria máquina	Não Planeado
	Falta operador	Não Planeado
	Abastecimento Matéria-prima	Não Planeado
	Avaria ferramenta / Gabarit	Não Planeado
	Energia/Gas/Ar	Não Planeado
	Planeamento / OF	Não Planeado
Programada	Pausa	Planeado
	Manutenção preventiva	Planeado
	Fim de Turno	Planeado

Notas:

- Tipo de Paragem – Classificação da Paragem Geral
- Motivo de Paragem – Subcategoria associada ao tipo de paragem
- Paragens planeadas não afetam o OEE

Tabela D-2 – Tabela com os Tipos e Motivos de Rejeições de Peças Produzidas no Chão de Fábrica

Tipo de Rejeição	Motivo de Rejeição
Defeito Processo anterior	-
Defeitos de aparência	Corte defeituoso
	Oxidação
	Riscos e mossas acentuadas
	Rebarba
	Pintura NOK
Desvios dimensionais	Furo Apertado
	Furo Largo
	Falha de Quinagem
	Curvatura errada
	Empeno
	Rebarba
Soldadura	Poros de Soldadura
	Soldadura NOK
	Salpicos
Outros	Falta de operação
	Peça de afinação
	Peça de ensaio

Notas:

- Tipo de Rejeição – Classificação da Paragem Geral
- Motivo de Rejeição – Subcategoria associada ao tipo de rejeição

Justifique a paragem:

Tipo Paragem *

Falha

Motivo Paragem *

Avaria Ferramenta/Gabarit

Salvar

Figura D-1 – Interface de Justificação de Paragem de Produção

Criar Quantidade Rejeitada

Data e Hora *

25-06-2022

09

44

Quantidade Rejeitada *

5

Tipo de Rejeição *

Desvios Dimensionais

Motivo de Rejeição *

Falha de Quinagem

Guardar

Figura D-2 – Interface de Registo de Quantidade Rejeitada

ANEXO E: Detalhes dos KPIs calculados através de fórmulas

Tabela E-1 – Fórmulas Agregadoras dos KPIs

KPI	Vista	Fonte de dados proGrow	Fórmulas Agregadoras
OEE	Turno	Vista Turno	KPI: $(\text{sum(Quantidade Produzida)}/\text{sum(Quantidade Teórica)}) * (\text{sum(Tempo Produção)}/\text{sum(Tempo Disponível)}) * \text{sum(Quantidade Ok)}/\text{sum(Quantidade Produzida)} * 100$ Métrica: $\text{avg}(\text{Obj_OEE})$
Performance	Turno	Vista Turno	KPI: $\text{sum(Quantidade Produzida)}/\text{sum(Quantidade Teórica)} * 100$ Métrica 1: $\text{sum(Quantidade Produzida)}$ Métrica 2: $\text{sum(Quantidade Teórica)}$
Disponibilidade	Turno	Vista Turno	KPI: $\text{sum(Tempo Produção)}/\text{sum(Tempo Disponível)} * 100$ Métrica 1: $\text{sum(Tempo Produção)}$ Métrica 2: $\text{sum(Tempo Disponível)}$
Qualidade	Turno	Vista Turno	KPI: $\text{sum(Quantidade OK)}/\text{sum(Quantidade Produzida)} * 100$ Métrica 1: $\text{sum(Quantidade OK)}$ Métrica 2: $\text{sum(Quantidade Produzida)}$
Qtd. Produzida	Turno	Vista Turno	KPI: $\text{sum(Quantidade Produzida)}$ Métrica: $\text{sum(Quantidade Ok)}$
Qtd. Rejeitada	Rejeições	Vista Rejeições	KPI: $\text{sum(Quantidade Rejeitada)}$
Tempo Paragem	Estados_Paragem	Vista Estados Paragem	KPI: sum(Duração) Métrica: $\text{count(Distinct ID Paragem)}$
Tempo Médio Setup	Estados_Setup	Vista Estados Setup	KPI: $\text{sum(Duração)}/\text{count(Distinct OF)}$ Métrica: sum(Duração) Métrica: $\text{count(Distinct ID Paragem)}$

ANEXO F: Maquetes das Vistas Setor/Fábrica do Módulo “Shopfloor”

Vista Planta



Figura F-1 – Maquete da Vista Fábrica para a respetiva página no “Shopfloor”

Secção - Soldadura Manual



Figura F-2 – Maquete da Vista Secção do setor da Soldadura Manual para a respetiva página no “Shopfloor”

Secção - Quinagem



Figura F-3 – Maquete da Vista Secção do setor da Quinagem para a respetiva página no “Shopfloor”

ANEXO G: Interfaces do Módulo “Shopfloor”

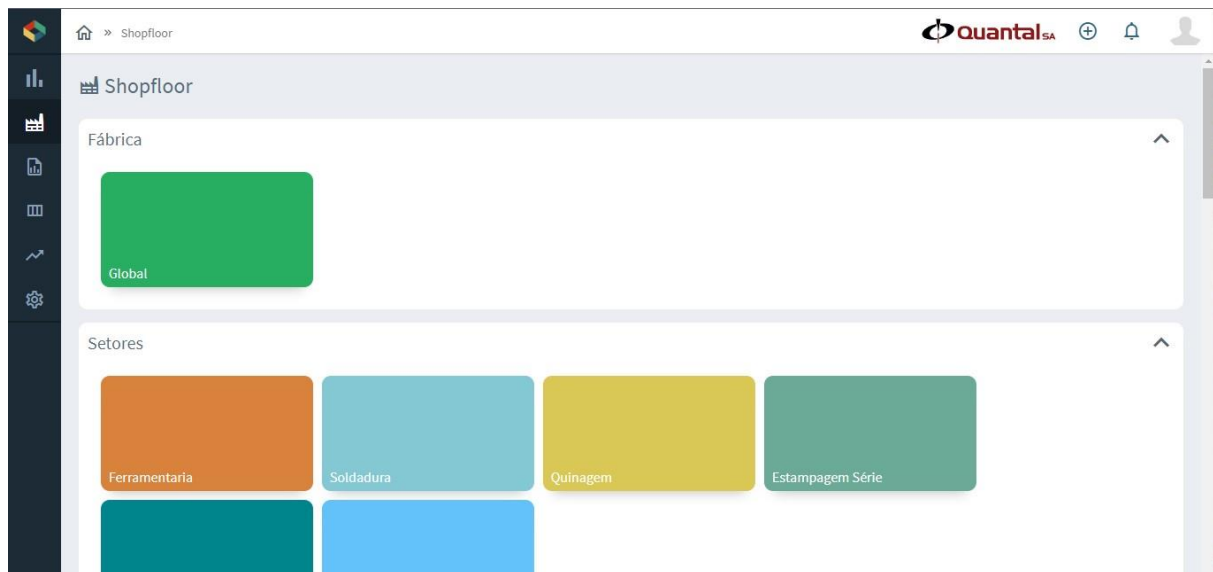


Figura G-1 – Interface de Seleção de Vista do Módulo “Shopfloor”, com as várias áreas configuradas

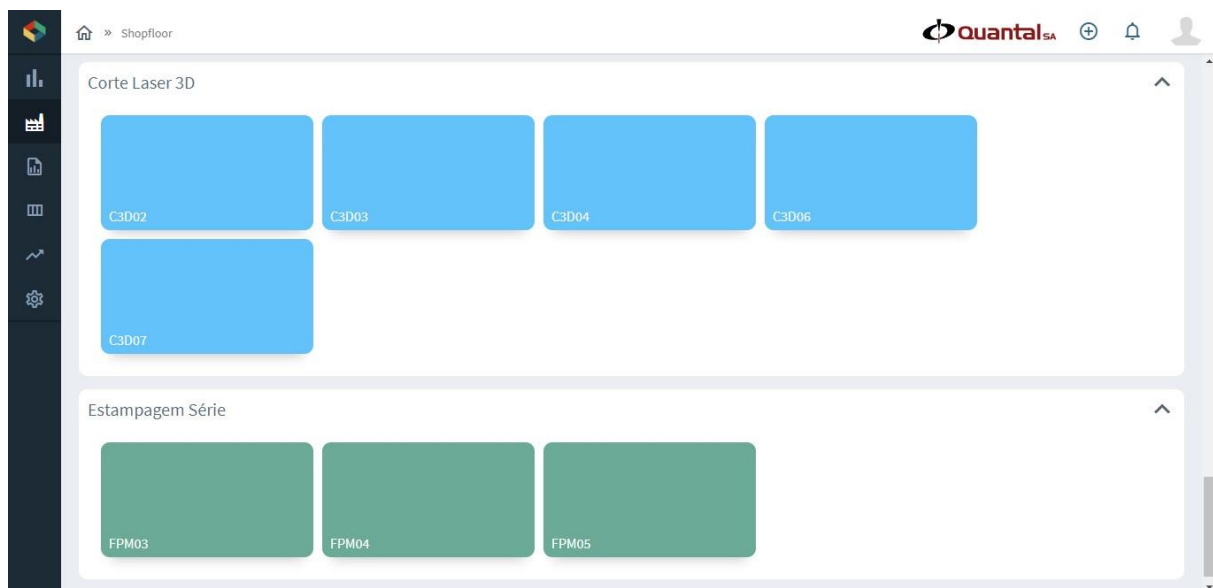


Figura G-2 – Continuação da Interface de Seleção de Vista do Módulo “Shopfloor”, com as várias áreas configuradas



Figura G-3 – Visão Fábrica Geral da respetiva página no “Shopfloor”

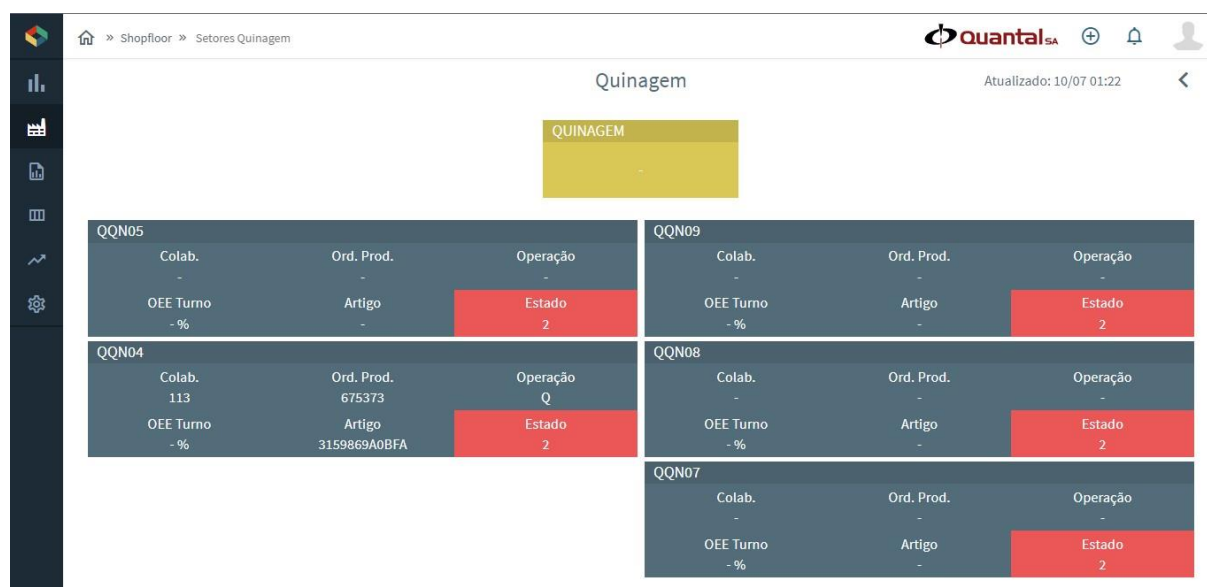


Figura G-4 – Vista Secção do setor da Quinagem para a respetiva página no “Shopfloor”

**ANEXO H: Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da
Fábrica produzido automaticamente pela plataforma
proGrow**

Relatório Resumo Eficiência Fábrica: Semanal 23-2022

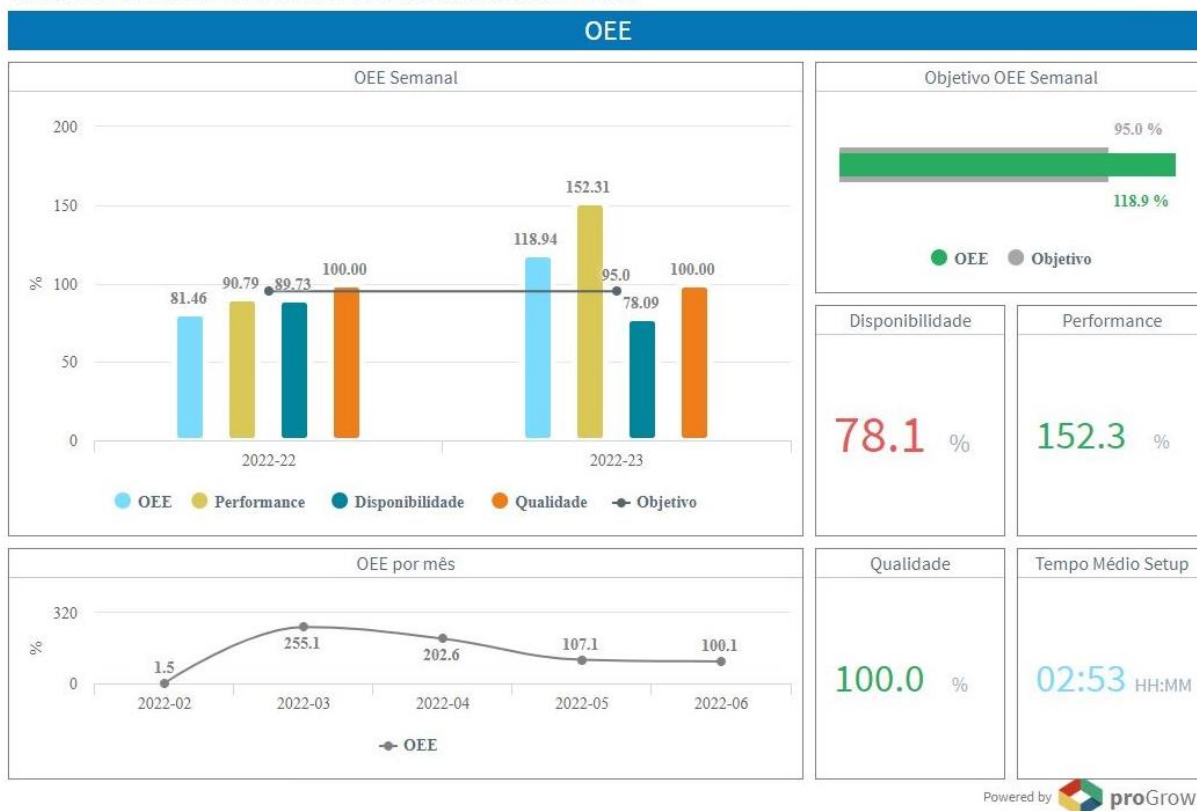


Figura H-1 – Página 1 do Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da Fábrica



Figura H-2 – Página 2 do Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da Fábrica

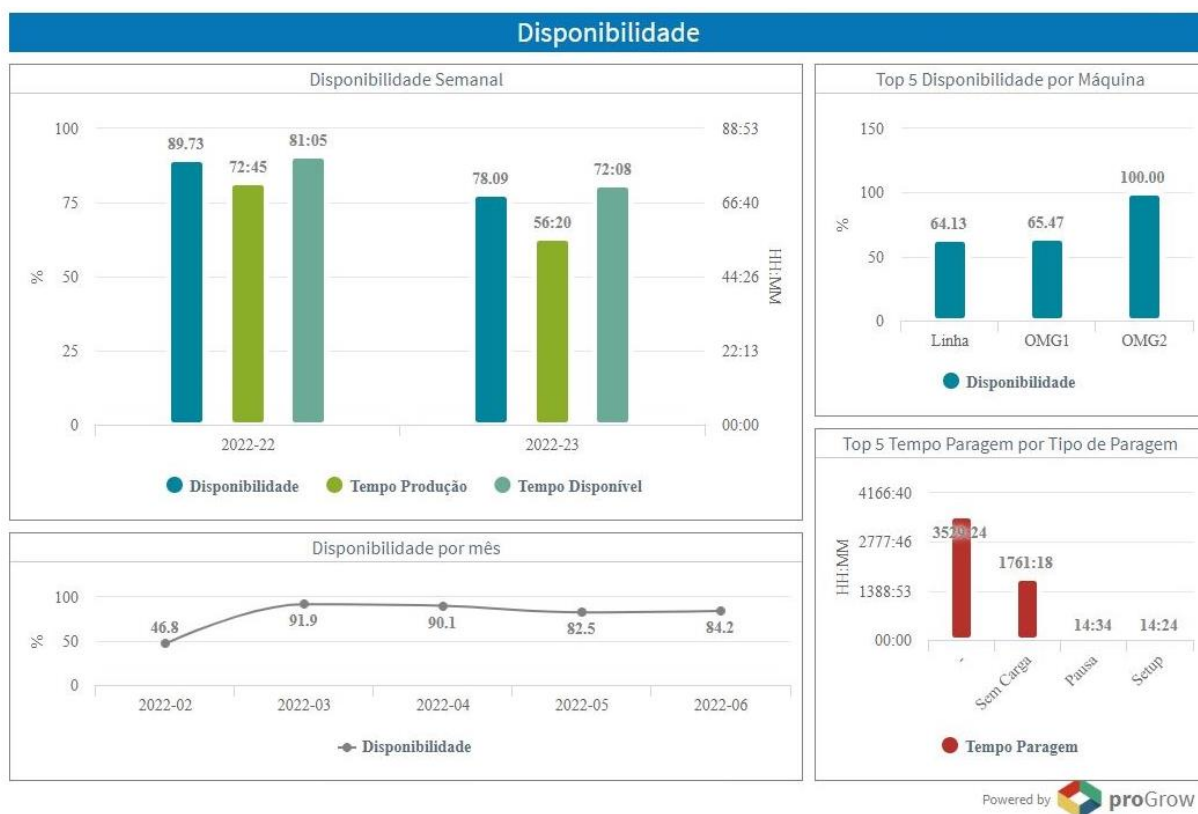


Figura H-3 – Página 3 do Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da Fábrica



Figura H-4 – Página 4 do Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da Fábrica

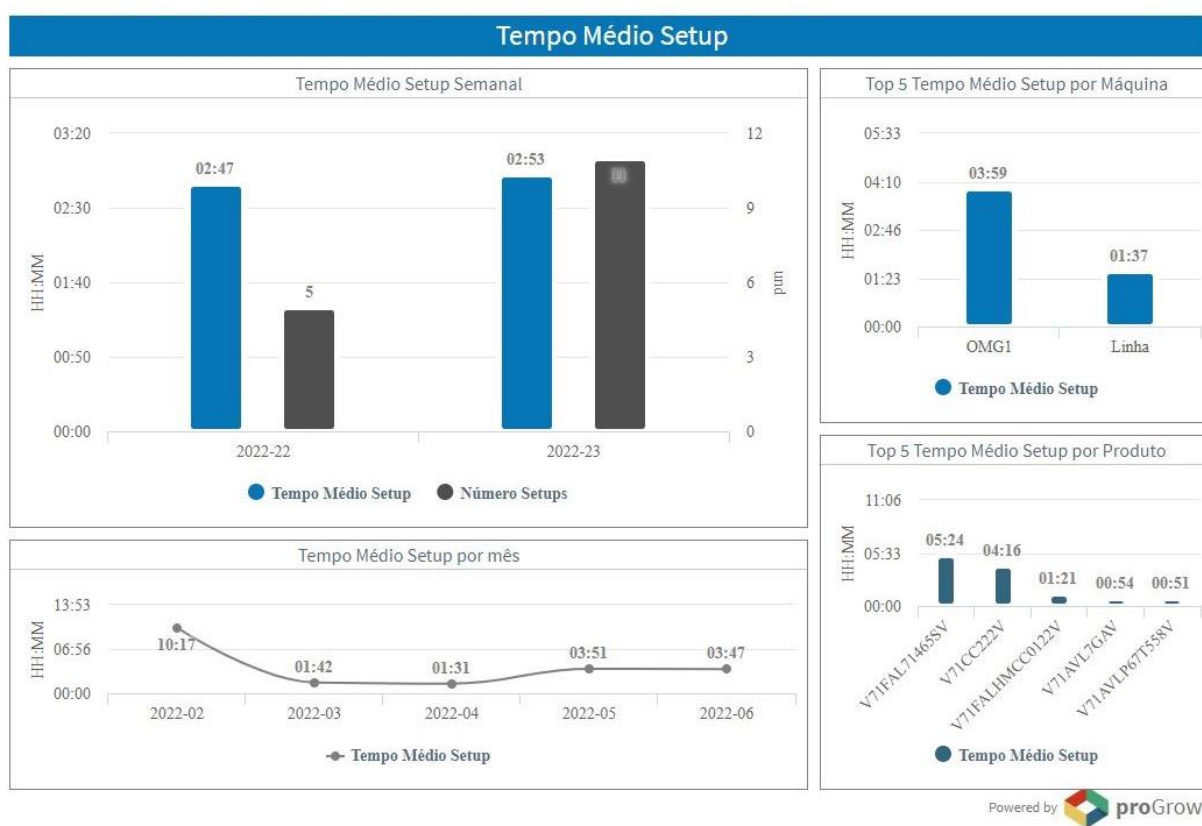
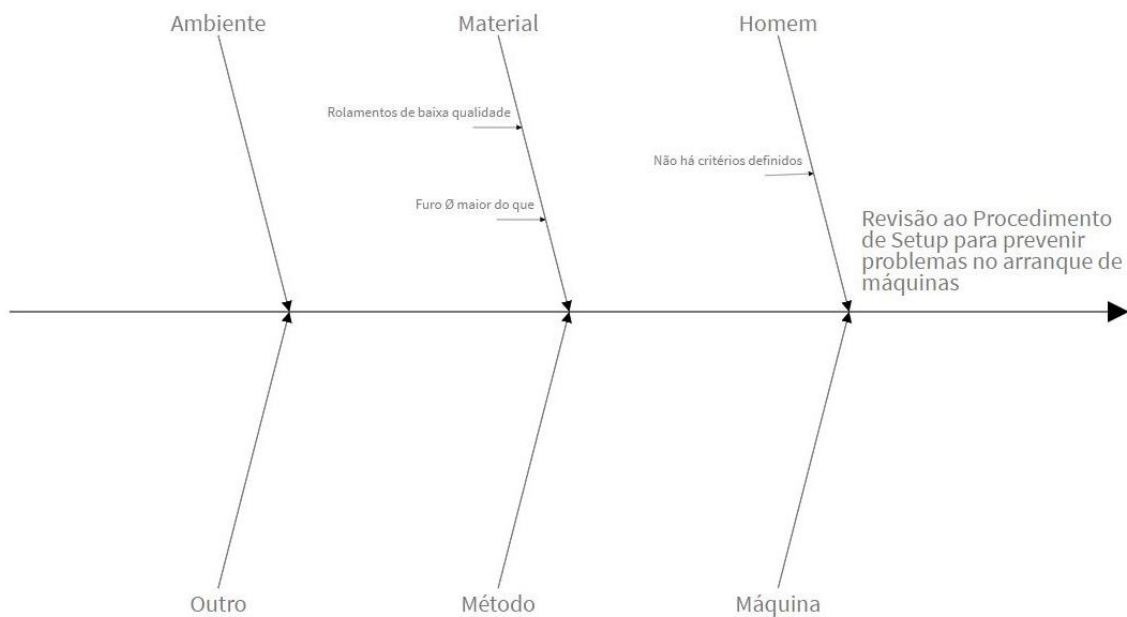


Figura H-5 – Página 5 do Relatório Semanal de Resumo de Eficiência da Fábrica

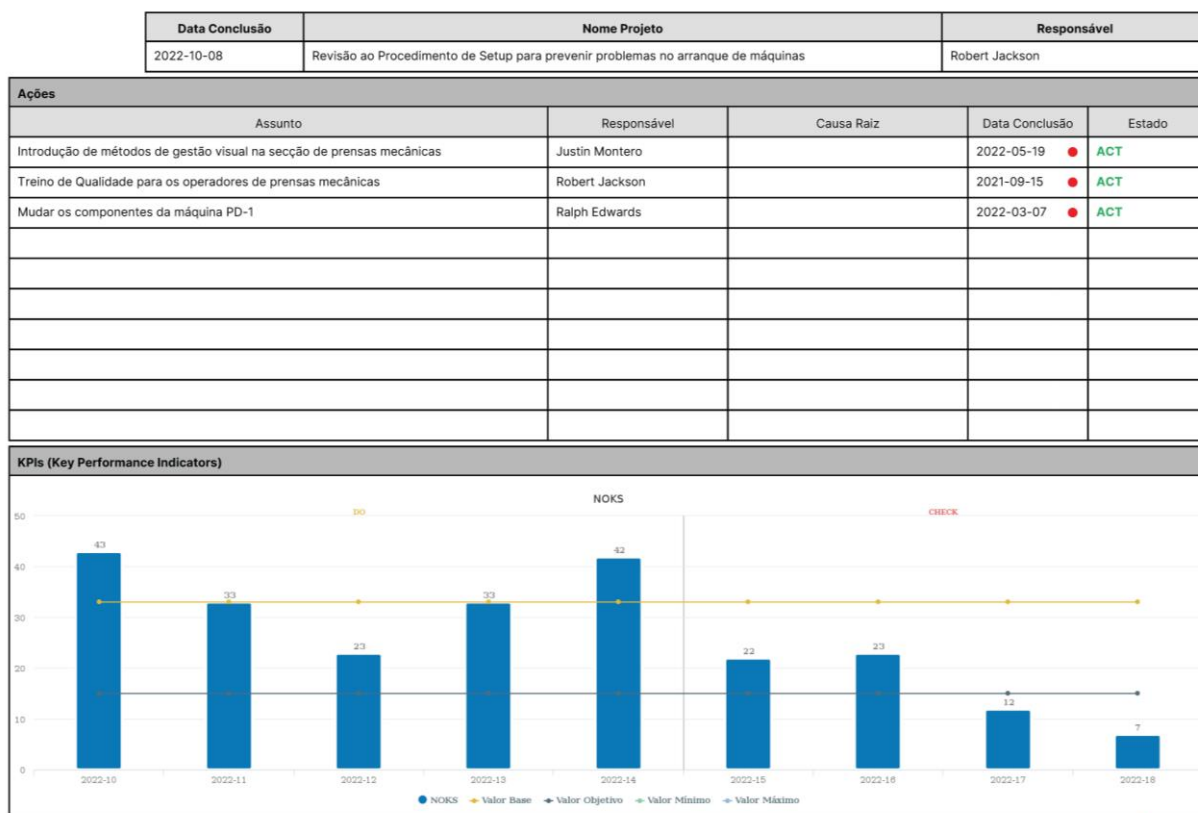
ANEXO I: Relatórios de um exemplo de Projeto do Tipo A3 do Módulo “Melhoria”

Diagrama Ishikawa



Powered by proGROW

Figura I-1 – Diagrama Ishikawa de um Projeto de Melhoria do Tipo A3



Powered by proGROW

Figura I-2 – Relatório PDCA de um Projeto de Melhoria do Tipo A3

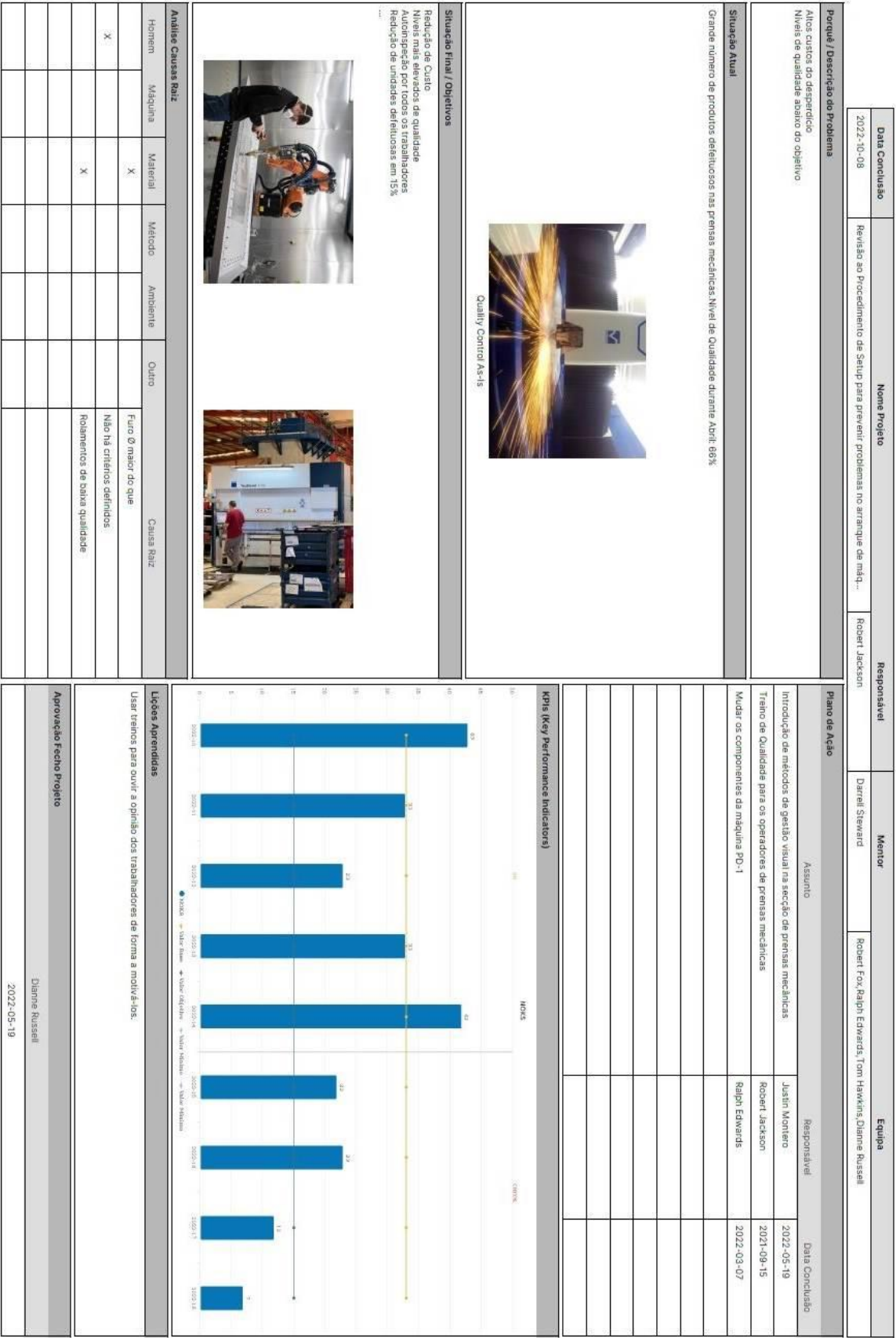


Figura I-3 – Relatório A3 de um Projeto de Melhoria do Tipo A3

ANEXO J: Interface do Módulo de “Melhoria”

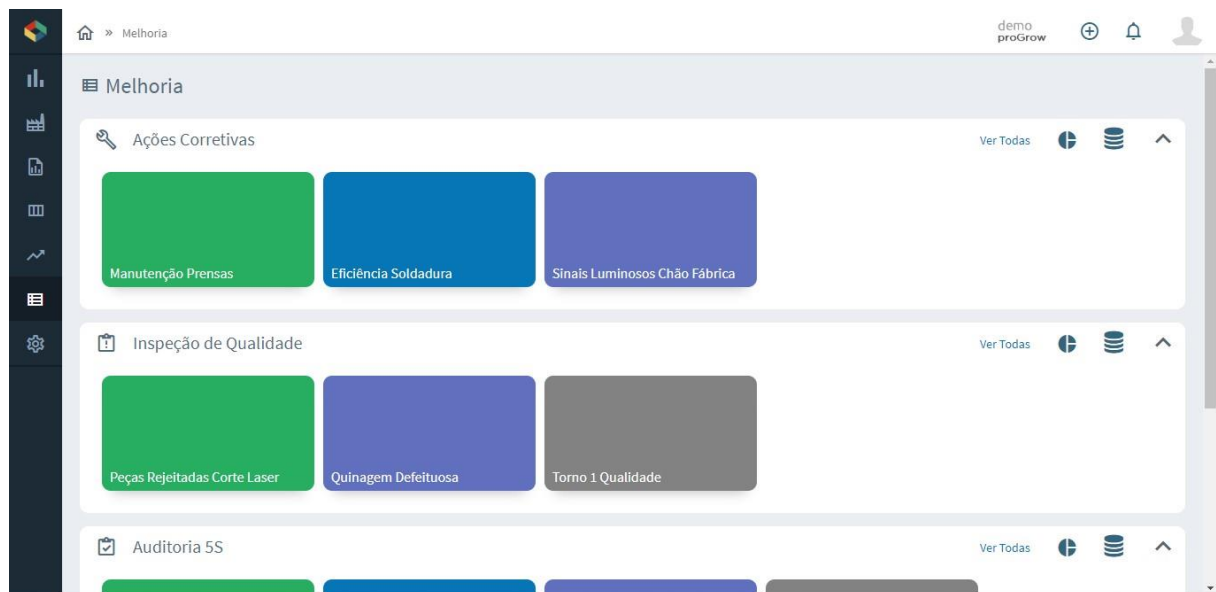


Figura J-1 - Interface de Seleção de Projetos do Módulo “Melhoria”, com as várias áreas configuradas

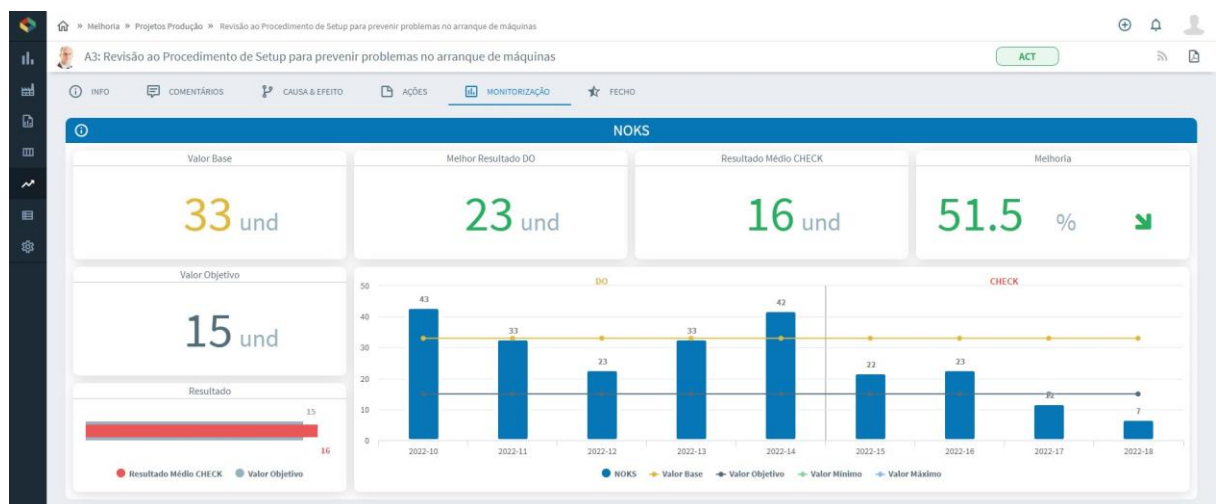


Figura J-2 - Interface do Separador “Monitorização” de Projetos do Módulo “Melhoria”