

MESTRADO
GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
DISSERTAÇÃO

**PROCESSO DE ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NUMA
EMPRESA DE MANUFATURA: ESTUDO DE CASO**

AFONSO MANUEL COSTA MEDEIROS

NOVEMBRO - 2020

MESTRADO

GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

DISSERTAÇÃO

**PROCESSO DE ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NUMA
EMPRESA DE MANUFATURA: ESTUDO DE CASO**

AFONSO MANUEL COSTA MEDEIROS

ORIENTAÇÃO:
PROFESSORA GRAÇA SILVA

NOVEMBRO - 2020

*Almost all good writing
begins with terrible first
efforts. You need to start
somewhere.*

-Anne Lamott

RESUMO

A tecnologia tem um papel extremamente importante na nossa sociedade. Nesse sentido, as revoluções industriais, através da introdução de novas tecnologias, são extremamente impactantes para as economias. A Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial promete inúmeros benefícios para todo o tipo de empresas, com principal enfoque no setor industrial. O seu estudo é por isso considerado de extrema relevância.

O presente estudo procura, através de uma análise qualitativa, perceber como é feita a implementação de uma solução baseada em tecnologias da Indústria 4.0 numa empresa industrial inserida no setor da produção cerâmica. São abordadas as motivações e as respetivas necessidades da empresa, identificadas as vantagens encontradas resultantes da implementação, percebidas as dificuldades sentidas ao longo do projeto, tanto pelos elementos da Aleluia Cerâmicas, como pela Gestora de Projeto da Vodafone, e por fim, foram apresentados os resultados constatados pelos diretores da Aleluia.

Os resultados deste estudo apontam, em larga medida, para a convergência de ideias entre os tópicos da literatura e a informação recolhida aos informantes-chave, principalmente no que a toca à quantidade de informação disponibilizada à gestão, aos aumentos da capacidade de resposta, dos níveis de eficiência e da qualidade.

ABSTRACT

Technology plays an extremely important role in our society. In this sense, industrial revolutions, through the introduction of new technologies, have an extreme impact in our economies. Industry 4.0, or the 4th industrial revolution, promises numerous benefits for all types of companies, with a primary focus on the industrial sector. For this reason, the study is considered extremely relevant.

For this reason, it was decided to investigate, through a qualitative analysis, how a solution based in Industry 4.0 technologies is implemented and how does it impact the adopting company. The company's motivations and respective needs are addressed, the advantages found resulting from the implementation are identified, the difficulties experienced throughout the project are perceived, both by the elements of Aleluia Cerâmicas and the project manager of Vodafone, and finally, the results perceived by the directors of the company were presented. The study analyses an industrial company in the ceramics sector.

The results of this dissertation point, for the most part, to the convergence of ideas between topics in literature and the information collected from key-informants, especially with regard to the amount of information made available to management, increases in response capacity, efficiency and quality levels, and less interruptions in the production process.

PALAVRAS-CHAVE:

Indústria 4.0; Smart Factory; Motivações; Vantagens; Dificuldades; Resultados Operacionais.

ÍNDICE

Resumo	i
<i>Abstract</i>	ii
Índice	iii
Índice de Tabelas	v
Simbologia e Notação.....	v
Agradecimentos	Error! Bookmark not defined.
1. Introdução.....	vii
2. Revisão da Literatura.....	3
2.1. Indústria 4.0.....	3
2.2. Internet-Of-Things.....	7
2.3. Industrial Internet-Of-Things	8
2.4. Big-Data	9
2.5. Benefícios esperados com a Indústria 4.0	11
3. Metodologia.....	13
3.1. Método de Pesquisa	13
3.2. Recolha de dados	15
3.3. Estudo de Caso	16
3.3.1 Aleluia Cerâmicas.....	16
3.3.2 Processo Produtivo	17
3.3.3 Caraterização do Solução Smart Factory.....	18
4. Análise dos resultados	20
4.1. Motivações	20
4.2. Vantagens	23

4.3. Dificuldades.....	26
4.4. Resultados.....	28
5. Conclusões.....	30
6. BIBLIOGRAFIA	34
7. Anexos	38
7.1. Anexo A – Guião da Entrevista.....	38
7.2. Anexo B – Plataforma Vodafone Smart Factory – Versão Demo.....	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I: Caracterização das entrevistas realizadas	16
Tabela II: Equipamentos monitorizados	20

SIMBOLOGIA E NOTAÇÃO

CC – *Cloud Computing*

CPS – *Cyber-Physical System*

IDC – *International Data Corporation*

IIoT – *Industrial Internet-of-Things*

IoT – *Internet-of-Things*

KPI – *Key-performance indicator*

LGV – *Laser Guided Vehicle*

Maas – *Manufacturing as a service*

NFC – *Near-field Communication*

PIB – *Produto Interno Bruto*

RFID – *Radio-frequency Identification*

ROI – *Return-on-Investment*

TI – *Tecnologia de Informação*

TIC – *Tecnologias de Informação e Comunicação*

TO – *Tecnologia de Operações*

WSN – *Wireless Sensor Network*

ZB – *Zettabyte*

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Professora Graça Silva, pela ajuda, prontidão e compreensão demonstrada tal como toda a partilha de informação ao longo do percurso;

Ao meu *manager*, Mário Peres, da Vodafone, por todos os ensinamentos, conselhos e toda a excelente mentoria recebida desde o início do estágio;

À Aleluia Cerâmicas, nomeadamente ao Diretor Geral, Diretor de Operações e Diretor de Redes e Sistemas de Informação não só pela realização das entrevistas, mas também por toda a disponibilidade, cooperação e simpatia demonstrada;

Aos restantes participantes, nomeadamente Inês Oliveira, Teresa Miranda e Pedro Nunes, os meus sinceros agradecimentos pela prontidão demonstrada para contribuir de forma determinante para a qualidade deste estudo;

À minha família por todo o apoio, amor e confiança depositada em mim. Sei que não vos desiludi;

Aos meus colegas de casa por escutarem tantas vezes os problemas e tentarem sempre ajudar-me na sua resolução;

A todos os meus amigos e amigas pela ajuda e apoio a todos os níveis;

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a pessoa que sou hoje, o meu mais sincero obrigado.

1. INTRODUÇÃO

O termo “Indústria 4.0” teve origem na iniciativa estratégica “*High-Tech Strategy 2020 Action Plan*” do governo Alemão, e não é mais do que uma nomenclatura para a quarta revolução industrial. Uma das razões pela qual a Indústria 4.0 é tão relevante, são os benefícios prometidos por esta revolução industrial, nomeadamente a capacidade de contribuir para a resolução de questões relativas à sustentabilidade global, bem como ajudar as empresas com o paradigma atual de competirem a nível internacional, onde é necessário atuar de forma rápida e eficaz.

O potencial da Indústria 4.0 é vasto, com oportunidades dispersas pelas mais variadas áreas, afetando a produtividade de vários setores, por exemplo, a indústria de manufatura, o transporte, a saúde, a produção de energia e a produção de petróleo e gás.

A Indústria 4.0 tem elevado potencial para proporcionar a tão aguardada produção sustentável que o nosso mundo precisa, onde a gestão de recursos é otimizada, com recurso a tecnologias ao longo da cadeia de valor (Stock & Seliger, 2016).

Em 2010 a Internet representava uma rede que contava com cerca de 1.5 mil milhões de computadores e 1 mil milhão de telemóveis. Assim, ao longo dos últimos 10 anos, a rede que, no passado, era chamada de “*Internet of PCs*”, transformou-se em “*Internet-of-Things*”. Atualmente, em 2020, esta rede conta com mais de 50 mil milhões de dispositivos, entre eles dispositivos portáteis, máquinas e sensores (Gusmeroli et al., 2010). Há previsões que apontam para o crescimento do número de dispositivos conectados para 135 mil milhões em 2030 (IHS Markit, 2019). Portanto, com os avanços tecnológicos e com o número de dispositivos conectados a aumentar exponencialmente, caminhamos para uma sociedade onde tudo e todos vão estar conectados, o que resultará na mitigação de imensos problemas de ineficiência (Khan, Khan, Zaheer & Khan, 2012). No seguimento desta linha de pensamento é fácil entender o “poder do 1%”. Isto é, na maioria das indústrias economizar apenas 1% dos custos ou ineficiências operacionais resulta em ganhos significativos. Por exemplo, foi necessária a economia de apenas 1% de combustível para que, por ano, a indústria do transporte aéreo conseguisse reduzir os seus custos em combustível em \$30 mil milhões (Gilchrist, 2016).

A relevância do estudo assenta não só no facto do tema Indústria 4.0 ser extremamente recente, como pode ser observado pela data das publicações utilizadas na revisão da literatura, mas também porque contribui para a literatura, já que pouco é conhecido relativamente à adoção de soluções baseadas em tecnologias da Indústria 4.0, principalmente em Portugal. Assim, o estudo é focado em perceber como é que estas tecnologias afetam as empresas que as adotam.

A presente dissertação tem como propósito perceber como é feita a implementação de tecnologias baseadas na Indústria 4.0 numa empresa portuguesa de manufatura. Os objetivos principais associados à presente investigação científica são:

- Perceber quais os principais motivos que levaram a empresa a implementar uma solução baseada em tecnologias da Indústria 4.0;
- Entender as vantagens provenientes desta implementação;
- Identificar as principais dificuldades sentidas durante a implementação deste tipo de tecnologias; e
- Compreender os resultados obtidos com a implementação deste projeto.

Para tal, o presente trabalho analisa um projeto conjunto e tripartido entre a Aleluia Cerâmicas, a Vodafone e o seu parceiro, ThinkDigital, que visa a implementação da solução Vodafone Smart Factory, criada em conjunto pela Vodafone pela ThinkDigital.

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos de forma a atingir os objetivos acima descritos. Assim, neste trabalho, são primeiramente introduzidos os temas de investigação e os objetivos do trabalho, bem como uma breve descrição da sua estrutura. Posteriormente é feito um enquadramento teórico, na revisão da literatura, dos temas considerados importantes. Numa terceira fase, o TFM foca-se no estudo de caso da empresa Aleluia Cerâmicas onde a mesma é brevemente caracterizada, a par do seu processo produtivo e da solução a implementar. No quarto capítulo são apresentados e analisados os resultados da pesquisa exploratória realizada. Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas breves conclusões. São ainda disponibilizados nos apêndices os artigos científicos consultados e os anexos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Indústria 4.0

Quando falamos das grandes mudanças na indústria ao longo da história, a extensa literatura considera quatro principais transformações, sendo a Indústria 4.0 a última e atual revolução industrial (Qin, Liu & Grosvenor, 2016). Entre 1760 e 1840, dá-se a primeira revolução industrial, caracterizada pela máquina a vapor; a segunda é definida pela utilização de eletricidade nos processos industriais, no início do século XX; a terceira revolução inicia-se na década de 1960, com o uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) e automação industrial. Finalmente, a quarta revolução industrial – ou Indústria 4.0 – é consolidada numa iniciativa alemã para construir a “*Smart Factory*” através da integração de objetos físicos com tecnologias digitais (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013; Hemann, Pentek & Otto, 2016; Brettel, Friederichsen, Keller & Rosenberg, 2014). Todos os benefícios das revoluções industriais anteriores surgem depois do acontecimento, isto é, depois das tecnologias das respetivas revoluções aparecerem. Na quarta revolução industrial, por outro lado, temos a oportunidade de a orientar proactivamente para o melhor caminho possível, de forma a que ela transforme o nosso mundo da melhor forma (Gilchrist, 2016).

Ghobakhloo (2018) defende que não há uma definição clara de Indústria 4.0, mas o seu conceito é baseado em seis princípios:

- Interoperabilidade: pode ser vista como a habilidade de todos os componentes de uma *Smart Factory* comunicarem entre si, nomeadamente os *cyber-physical Systems* (CPSs), humanos, recursos, produtos inteligentes e as próprias fábricas. Essa comunicação é feita através da *Internet-of-Things* (Gilchrist, 2016). Permite que o processo produtivo não tenha de seguir um conjunto de métodos e passos predeterminados, mas sim que comunique entre si de forma a que, ele próprio, perceba a melhor configuração possível (Khan, Wu, Xu & Dou, 2017).
- Orientação para o serviço, no contexto da Indústria 4.0, está principalmente associada ao conceito “*Manufacturing as a service*” (MaaS) e refere-se a usar toda a rede da infraestrutura produtiva para vender serviços. A interconetividade entre os fabricantes, e a disseminação do IoT e do *Cloud Computing*, formou um

ecossistema que permite que as empresas comuniquem de forma automática entre si. Assim, neste contexto as tarefas de produção mais complexas podiam ser realizadas de forma colaborativa por várias partes (Ghobakhloo, 2018). Isto significa que o produto físico deixa de ser o bem primário da empresa, passando este a ser a própria capacidade produtiva da fábrica (Qi, Tao, Zuo & Zhao, 2018).

- Modularidade é outro dos princípios de *design* da Indústria 4.0, que se foca na mudança dos layouts fabris lineares, rígidos e inflexíveis, para um sistema ágil que pode ser adaptado constantemente de acordo com as circunstâncias e requisitos (Gilchrist, 2016). A produção e manufatura são afetadas a vários níveis pela modularidade, que se baseia numa cadeia de abastecimento ágil, em sistemas flexíveis para o fluxo de materiais, em procedimentos modulares para tomadas de decisão e em processos flexíveis (Perales, Valero & Garcia, 2018).
- A descentralização permite que diferentes partes da *Smart Factory* trabalhem de forma independentemente e que, ao mesmo tempo, tomem decisões autónomas de forma a que continuem alinhadas com o objetivo que a organização estabeleceu (Gilchrist, 2016). Segundo Ghobakhloo (2018) as empresas conseguem, facilmente, lucrar com a descentralização graças ao planeamento simplificado e coordenação de diferentes projetos (Ghobakhloo, 2018).
- A virtualização permite que toda a cadeia de valor seja replicada, a partir de um “*digital twin*”, através da fusão de dados sensoriais adquiridos no mundo físico e da inserção dos mesmos em modelos ou simulações virtuais (Moreno, Velez, Ardanza, Barandiaran, Infante & Chopitea, 2017). O gémeo digital da *Smart Factory* permite aos engenheiros otimizar os processos produtivos de forma totalmente isolada, sem interromper os processos físicos (Gilchrist, 2016).
- A virtualização, e não só, depende diretamente da capacidade em tempo real, já que um dos objetivos da Indústria 4.0 é que a monitorização e o controlo sejam feitos em tempo real (Gilchrist, 2016). Não se trata apenas da recolha de dados, já que envolve também a análise desses mesmos dados para que posteriormente se tomem decisões em tempo real com base na mesma, possibilitando até a deteção de ataques à segurança cibernética da organização (Mouef, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo & Barbaray, 2018).

Toda esta filosofia permitiu criar a *Smart Factory*, um aspeto central na visão da Indústria 4.0, onde as eficiências e os custos são otimizados e as receitas aumentam. Esta fábrica opera com eficiência, onde todos os processos, dirigidos por sistemas ciber-físicos e humanos, são diferentes dos encontrados numa fábrica tradicional, já que funciona num ambiente eficiente, estéril, limpo e seguro (Gilchrist, p.198, 2016). As fábricas inteligentes têm estruturas modulares, nas quais os *Cyber-Physical Systems (CPSs)* monitorizam os processos, criam uma cópia virtual do mundo real e fazem decisões descentralizadas (Xu, Xu & Li, 2018). Gilchrist (2016) defende que as fábricas inteligentes vêm alterar abruptamente a forma como é feita a produção. Os Cyber-Physical Systems são redes online de máquinas sociais. Simplificando, o sistema liga as tecnologias de informação aos componentes mecânicos e eletrónicos, que comunicam entre si através da rede. As máquinas pertencentes ao sistema compartilham continuamente informações sobre os níveis atuais de stock, problemas, falhas e alterações nos pedidos e alterações níveis de procura (Schlaepfer & Koch, 2015).

Aqui, também os produtos manufaturados devem ser inteligentes para que possam ser identificados e localizados em qualquer fase do processo fabril. É importante referir que estas fábricas não estão relacionadas estritamente com empresas gigantes, sendo, aliás, ideais para pequenas e médias empresas devido ao nível de flexibilidade que estas unidades produtivas possibilitam. Por exemplo, ter controlo sobre o processo produtivo e produtos inteligentes beneficia a empresa tanto na tomada de decisões, como no controlo dos processos dinâmicos, tendo mais capacidade e flexibilidade para se adaptar a mudanças de design de última hora ou para alterar a produção para atender a necessidades específicas por parte do cliente (Gilchrist, 2016). Também os processos e prazos são coordenados com o objetivo de aumentar a eficiência e otimizar os tempos de produção, a utilização da capacidade, a qualidade do desenvolvimento, a produção, o marketing e as compras (Schlaepfer & Koch, 2015). Alcácer & Cruz-Machado (2019) defendem ainda que um dos impactos positivos da Indústria 4.0 é a extinção dos trabalhos monótonos e repetitivos e dos trabalhos que exigem demasiada força.

Outro aspeto central na visão da Indústria 4.0 é a integração vertical dos processos de manufatura dentro da cadeia de valor. Isto é, os sistemas horizontais integram os processos verticais de negócios (I&D, Vendas, Logística, Finanças, Apoio ao Cliente). Esta fusão da tecnologia de operações (TO) com a tecnologia de informação (TI) permite

que as organizações inteligentes controlem toda a gestão de ponta a ponta (*end-to-end*), desde a cadeia de abastecimento até aos serviços de pós-venda (Gilchrist, 2016). A Indústria 4.0 traz consigo fábricas globalmente conectadas com as suas cadeias de valor, clientes e parceiros de negócio. É assim percebido que esta revolução acarreta uma mudança radical na forma como as fábricas operam nos dias de hoje (Xu *et al.*, 2018).

Schlaepfer & Koch (2015) defendem que a Indústria 4.0 tem três características principais que demonstram ao setor industrial e à manufatura tradicional a oportunidade e capacidade para mudança:

- **Integração Vertical:** relacionada com a rede vertical de sistemas de produção inteligentes. Revela a integração de sistemas TIC em vários níveis hierárquicos da organização que torna a produção mais flexível e rapidamente reconfigurável com informações sobre o processo, obtidas em tempo real.
- **Integração Horizontal:** Esta integração oferece visibilidade e transparência sobre toda a cadeia de valor, desde a logística de entrada, armazenamento, produção, marketing e vendas, até à logística de saída. Assim, o histórico de qualquer peça ou produto é registado e pode ser acedido a qualquer altura. Traz também elevada colaboração com parceiros externos, clientes e fornecedores através da integração de sistemas visando a troca de informações, de processos e de fluxos. Pode ser vista como uma nova geração de redes de cadeias de valor globais.
- **Engenharia End-to-End:** representa a interdisciplinaridade da engenharia ao longo de toda a cadeia de valor e do ciclo de vida do produto.

É, no entanto, importante referir que, apesar de esta nova revolução industrial prometer inúmeros benefícios para as mais extensas áreas de negócio, acarreta também barreiras à sua adoção. Segundo Raj *et al.* (2020), é possível identificar quinze tipos de barreiras à implementação de tecnologias da Indústria 4.0 na indústria produtiva: investimentos elevados, falta de clareza relativa ao benefício económico, desafios na integração dos sistemas da cadeia de valor, preocupações sobre a segurança cibernética, tecnologia pouco conhecida e com pouca maturidade, desigualdades criadas no trabalho, disrupção aos trabalhos existentes, falta de standardização e regulação, falta de infraestruturas, falta de *skills* digitais, desafios em garantir a qualidade dos dados, falta de formações e cultura digital, resistência à mudança, gestão da mudança ineficiente, e

finalmente, fraca estratégia digital acompanhada dos recursos necessários. (Raj, Dwivedi, Sharma, Jabbour, & Rajak, 2020)

2.2. Internet-Of-Things

O termo *Internet-of-Things* (IoT) é mencionado pela primeira vez por Kevin Ashton, em 1999, numa apresentação à Procter & Gamble (P&G) onde o mesmo explicava a utilidade da tecnologia *radio-frequency identification* (RFID) na cadeia de abastecimento da multinacional (Ashton, 2009). Ao ligar um leitor RFID à Internet, este consegue, de forma automática e única, identificar e rastrear objetos com *tags* RFID em tempo real. A tecnologia RFID e a *Wireless Sensor Network* (WSN) são vistas como as componentes mais importantes para a criação de uma rede IoT. É notado que, ao longo dos anos a IoT tem vindo a ser complementada com outras tecnologias emergentes como sensores, atuadores, GPS e telemóveis que são operados por Wi-Fi, Bluetooth, dados moveis ou *near-field communication* (NFC) (Xu *et al.*, 2018).

A tecnologia RFID tem centenas, se não milhares, de aplicações, tais como a gestão de cadeias de abastecimento, a gestão de chãos de fábrica, a monitorização ambiental, o retalho, as prateleiras inteligentes, a saúde, a indústria de alimentos e restaurantes, a logística, o turismo, as bibliotecas e tantas outras. Por outro lado, as *Wireless Sensor Networks* (WSNs) utilizam sensores inteligentes interconectados com o objetivo de controlar e monitorizar toda a operação. Algumas aplicações de WSN são monitorização industrial, ambiental, de transporte ou de saúde (Li, Xu & Wang, 2013; Xu D. L., 2014).

Vermesan e Friess propõem a seguinte definição para a *Internet-of-Things*:

“uma infraestrutura de rede global dinâmica com recursos de autoconfiguração baseados em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis onde “coisas” físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, usam interfaces inteligentes e estão perfeitamente integradas à rede de informações.”

Em Vermesan & Friess (2014) p.15

O desenvolvimento de tecnologias de comunicação *wireless* fez com que as possibilidades de comunicação aumentassem, nomeadamente através de serviços *web* e *cloud*, com o objetivo de servirem também como meio de armazenamento e comunicação de informação. (Atzori, Iera & Morabito 2017)

O IoT permite a recolha, armazenamento e transmissão de informações sobre os objetos equipados com *tags* RFID ou sensores. Assim, a IoT é de grande importância para a nossa economia e sociedade, tanto, que se prevê que venha a contribuir de forma determinante na abordagem de inúmeras questões sociais (Li *et al.*, 2013; Xu D. L., 2014).

2.3. Industrial Internet-Of-Things

É importante diferenciar as estratégias da IoT vertical (consumidor, comercial ou *enterprise*) do conceito horizontal e mais abrangente da IoT, já que estes têm públicos-alvo, requisitos técnicos e estratégias muito diferentes. São bastantes os líderes industriais que preveem que a internet industrial venha trazer níveis de crescimento e produtividade sem precedentes durante a próxima década (Gilchrist, 2016). Uma prova disto é a oportunidade percebida pelos governos e pelas empresas que, durante a última década, seguiram a tendência de realocar as suas atividades, com o objetivo de alcançarem custos de mão-de-obra baratos, estão agora focados em recuperar a sua competitividade (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Os governos locais, ao incentivar esta reindustrialização, esperam aumentar o valor acrescentado na produção e, conseqüentemente, aumentar o Produto Interno Bruto. A importância deste assunto é inegável, já que a produção e manufatura de bens representa dois terços do PIB Mundial (Gilchrist, 2016).

A Internet Industrial é considerada por Gilchrist (2016) como sendo a união de várias tecnologias-chave de forma a produzir um sistema maior do que a soma das suas partes. Este conceito apresenta uma nova forma de obter melhor visibilidade e perceção das operações internas e externas da empresa por meio da integração de sensores, *middleware*, software, sistemas de computação e armazenamento em *cloud*. Assim, a *Industrial Internet-of-Things (IIoT)* vem facilitar a integração de processos e sistemas revolucionando a produção, a logística e o planeamento de recursos para que se tornem mais eficazes e económicos (Barreto, Amaral & Pereira, 2017).

Os benefícios para as empresas são alcançados com ganhos de eficiência operacional e produtividade, o que resulta em reduções de ciclos de produção e de tempos de inatividade não planejados, o que consequentemente leva a aumentos nos lucros. (Jeschke, Brecher, Meisen, Özdemir & Eschert, 2016) Assim, de forma não surpreendente, quando confrontados com quais os principais benefícios do IIOT os adotantes respondem: aumento de margens, aumento de fluxo de receitas e custos operacionais reduzidos, nesta ordem (Gilchrist, 2016; pág.8). O mesmo autor indica ainda que os últimos desenvolvimentos nesta tecnologia permitiram ainda a redução drástica do seu preço e tamanho. Isto melhora o sistema IIoT no sentido em que torna a instrumentação de máquinas, processos e pessoas tecnicamente possível e financeiramente viável (Gilchrist, 2016).

Por exemplo, a *Big-data* é outro grande motivador e catalisador para a IIoT já que potencia e permite análises históricas, preditivas e prescritivas que fornecem uma visão sobre o que efetivamente acontece dentro da máquina ou processo (Gilchrist, 2016, p5). Combinando o que foi referido com a nova geração de componentes analíticos, auto-conscientes e auto previsíveis, é possível desenhar, com precisão, rotinas para manutenções preditivas de máquinas e ativos, mantendo-os em produção durante mais tempo e reduzindo as ineficiências e custos de manutenção desnecessária. (Xu, Xu, & Li, 2018)

2.4. Big-Data

Big-Data é um conceito recente que representa a aquisição de dados a partir de uma pluralidade crescente de fontes. Para que novos *insights* sejam extraídos destes dados é necessário o uso de técnicas computacionais poderosas para revelar as tendências e padrões entre esses conjuntos de dados (George, Haas & Pentland, 2014).

Durante os últimos 20 anos, a quantidade de dados produzidos aumentou em larga escala e em vários campos. De acordo com um relatório da *International Data Corporation* (IDC), em 2018, o volume de dados criados no mundo foi de 33 Zettabytes

(1ZB = 1,000,000,000 Gigabytes) e espera-se um crescimento até 2025, que chegará aos 175 ZB (Reinsel, Gantz & Rydning, 2018).

Sob o aumento exponencial dos dados gerados mundialmente, o termo *Big-Data* é usado principalmente para descrever enormes conjuntos de dados. A *Big-Data* traz oportunidades, nomeadamente a compreensão aprofundada dos valores escondidos, mas também desafios, por exemplo, como organizar e gerir efetivamente os conjuntos de dados. Recentemente, as indústrias ficaram interessadas nesta tecnologia devido ao seu alto potencial. Também os governos promoveram iniciativas para acelerar a investigação e as aplicações de *Big-data* (Chen, Mao & Liu, 2014; Kagermann *et al.*, 2013).

Um dos aspetos chave desta tecnologia é o impacto que tem sobre como as decisões são tomadas e quem as toma. Quando não temos dados suficientes, ou estes são caros de obter, faz sentido permitir que as pessoas em altas posições organizacionais tomem decisões com base na experiência que foram acumulando ao longo da sua carreira. No entanto, apesar de já existirem executivos que são genuinamente orientados para os dados, ou seja, dispostos a ignorar a sua própria intuição, existem ainda muitos por todo o mundo que confiam mais na sua experiência e intuição (McAfee & Brynjolfsson, 2012). Felizmente, usar *Big-data* para análise de dados e melhoramento de processos operacionais é extremamente rentável e de fácil implementação. Uma prova disso é o facto da maioria das empresas industriais seguir diretamente para uma abordagem de manutenção preditiva, já que é uma estratégia com rápidos retornos e um ROI elevado (Gilchrist, 2016).

Big-Data foi, em 2001, definida por Doug Laney, num relatório de investigação, como um modelo de 3Vs: Volume, Velocidade e Variedade. Embora tal modelo não fosse utilizado para definir a *Big-Data*, muitas empresas, incluindo a IBM, ainda usaram o modelo “3Vs” para descrever a *Big-Data* durante a década seguinte (Chen *et al.*, 2014). Atualmente, com o rápido desenvolvimento da internet, há uma enorme quantidade de dados a serem gerados diariamente. Assim, o processamento e análise dos mesmos está além da capacidade computacional das ferramentas tradicionais, como um computador doméstico (Gilchrist, 2016). Os desafios técnicos de usar *Big-Data* são reais, mas o desafio de gerir esta nova tecnologia é ainda maior (McAfee & Brynjolfsson, 2012).

A *Big-Data* permite, de forma rápida e eficiente, gerir e utilizar estas bases de dados em constante crescimento. Para além disto, permite a análise, e posteriormente, a seleção da informação valiosa, de forma a ajudar a tirar conclusões e a fundamentar decisões importantes. Assim, a definição da *Big-data* consiste em quatro dimensões, ou 4Vs: volume, velocidade, variedade e valor. Witkowski (2017) defende que a dimensão volume se refere à enorme quantidade de dados, quantidade essa que é superior à capacidade de recolha e análise através de tecnologias antiquadas. A velocidade refere-se à análise dos dados ser feita praticamente em tempo real. Isto deve acontecer continuamente para que as conclusões sejam corretas e adequadas ao período temporal pretendido. Os dados recolhidos em *Big-data* têm várias fontes, e por isso, alta variedade. Os dados podem ser estruturados, semiestruturados ou não estruturados, sendo que cada um destes tipos exige um processamento diferente, sendo os não estruturados os mais desafiantes, por exemplo, ficheiros de vídeo. Finalmente, o valor relaciona-se com o objetivo fulcral da *Big-Data*, conseguir isolar a informação relevante e transformá-la em *insights* valiosos a partir da análise destes *datasets*. É por isto que é tão importante que os dados recolhidos reflitam as condições reais, isto é, que sejam fidedignos, para que os resultados obtidos sejam igualmente precisos e desta forma consigam levar as atividades do negócio num bom sentido (Witkowski, 2017).

2.5. Benefícios esperados com a Indústria 4.0

O potencial da Indústria 4.0 é vasto, com oportunidades dispersas pelas mais variadas áreas, afetando a sua produtividade, por exemplo, a logística, a produção, o transporte, a saúde, a produção de energia, a produção de petróleo e gás e a manufatura.

A implementação das suas tecnologias nas empresas permitirá um aumento da flexibilidade dos processos de produção, uma análise de grandes quantidades de dados em tempo real e uma melhoria das decisões estratégicas e operacionais (Kagermann *et al.*, 2013; Porter & Heppelmann, 2014). Os desenvolvimentos destas tecnologias permitiram o desenvolvimento de sistemas integrados e conectados que permitem monitorizar e controlar os equipamentos e produtos através de um ciclo de feedbacks que absorvem grandes quantidades de dados (*Big-Data*), enquanto atualizam os modelos

virtuais com as informações em tempo real (Wang, Wan, Li & Zhang, 2016; Brettel *et al.*, 2014)

A literatura existente sugere que a integração das tecnologias digitais pode promover extensos benefícios para a indústria (Kagermann *et al.*, 2013). Na manufatura, a comunicação entre máquinas e produtos permite linhas facilmente reconfiguráveis e flexíveis para a produção de produtos cada vez mais personalizados, mesmo em pequenos lotes (Brettel *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016). Mais, com o CPS a processar e coletar informações em tempo-real, as empresas têm mais evidências factuais nos momentos de tomada de decisão (Oesterreich & Teuteberg, 2016). A Indústria 4.0 traz também a oportunidade para um crescimento no volume de negócios (Gilchrist, 2016). Por meio da integração horizontal, as redes colaborativas entre as empresas combinam recursos, diminuem riscos e adaptam-se rapidamente a mudanças no mercado (Brettel, Friederichsen, Keller & Rosenberg, 2014). No entanto, a colaboração chega também aos clientes, por meio de canais digitais e produtos inteligentes (Arnold, Kiel & Voigt, 2016).

De acordo com o estudo de Dalonogare *et al.* (2018), a automação digital do processo produtivo está diretamente associada a benefícios operacionais, sendo umas das aplicações mais implementadas dentro do leque da Indústria 4.0. Esta aplicação permite à empresa controlar as várias partes da sua fábrica e recolher informação sobre a mesma com o objetivo de fundamentar boas decisões. Este tipo de aplicações, baseadas na internet das coisas, permite também alcançar a *Big-Data* operacional, focada na previsão de manutenções de forma a prevenir possíveis interrupções (Dalenogare, Benitez & Ayala, 2018).

Um dos maiores equívocos sobre a Indústria 4.0 é a ideia de que esta vai beneficiar apenas o setor industrial. Apesar da manufatura ser o foco principal deste movimento, os seus benefícios vão muito além deste setor. A Indústria 4.0 não afeta apenas a produção, mas toda a cadeia de valor das organizações. Assim, segundo Gilchrist (2016) é possível identificar um conjunto de benefícios prometidos pela Indústria 4.0:

Aumento da competitividade global, assente em condições mais equitativas no que diz respeito aos custos de mão de obra, permitindo também que as pequenas empresas trabalhem juntas para desafiar as gigantes internacionais. Assim, espera-se mais competitividade das empresas. Aumentos de eficiência e consequentemente redução de

custos operacionais levam a consequentes aumentos dos lucros. Inerentemente, existirão melhorias nos níveis de produtividade das empresas. Aumentos nas receitas, já que este é um dos principais motores de crescimento, não só para as empresas, mas também para os governos, que veem um aumento no seu valor acrescentado bruto. Apesar dos avultados investimentos necessários para o estabelecimento da Indústria 4.0 numa cadeia de valor, estes projetos têm normalmente *Return-On-Investments* (ROI) extremamente altos. Otimização dos processos produtivos: A integração dos sistemas de informação com os sistemas de operações promete alcançar o máximo dos recursos disponíveis. Os gestores ganham controlo total sobre o processo produtivo, conseguindo depois otimizá-lo, pensando nos seus fornecedores e noutras partes envolvidas na sua cadeia de valor. É esperado que os tempos de produção diminuam, tornando o processo mais eficiente. A tomada de decisão é também feita em tempo real, o que é fundamental num contexto industrial. Aumento da qualidade no serviço ao cliente: Com a elevada quantidade de dados extraída dos mecanismos de monitorização presentes na Indústria 4.0 é possível, através de configuração, espelhar num *dashboard*, em tempo real, várias informações referentes à produção, nomeadamente, *key-performance indicators* (KPIs) que permitem aos gestores tomar decisões mais fundamentadas, de forma mais rápida e que em última instância, respondam às necessidades dos clientes (Gilchrist, 2016).

3. METODOLOGIA

3.1. Método de Pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido no ambiente laboral da Vodafone Portugal – empresa portuguesa de telecomunicações– durante a realização de um estágio no departamento de *Internet-of-Things Sales*, onde tive o privilégio de acompanhar de perto inúmeros projetos relacionados com as demais tecnologias presentes no contexto da Indústria 4.0, e com principal enfoque na *Internet-Of-Things* e *Big-Data*.

De forma a alcançar os objetivos propostos, optou-se por uma metodologia de investigação qualitativa para uma realidade organizacional específica, o estudo de caso,

para o qual foi cuidadosamente selecionado um projeto, já implementado no cliente, dentro do contexto da Vodafone.

O estudo de caso é uma abordagem de investigação metodológica particularmente adequada quando um estudo procura compreender, explorar ou descrever acontecimentos reais em contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores. É uma investigação empírica, de natureza qualitativa, que investiga profundamente um fenómeno contemporâneo dentro do seu próprio contexto real, especialmente se os limites entre o fenómeno e o contexto não forem claramente evidentes (Yin, 2009).

Segundo Yin (1994), a decisão do método de investigação a utilizar deve assentar em três condições: no tipo de questão de investigação, no controlo que o investigador tem sobre os eventos comportamentais e no foco em fenómenos contemporâneos em oposição aos históricos. Deste modo, questões de investigação do tipo “como?” ou “porquê?”, onde o investigador não tenha controlo sobre os eventos comportamentais e o enfoque do estudo reste em fenómenos contemporâneos num contexto de vida real, o método de investigação a escolher deve ser o estudo de caso.

Devido à riqueza dos fenómenos e ao contexto de mundo real, os casos de estudo e os seus investigadores têm de enfrentar uma situação técnica distintiva deste método. São encontradas muito mais variáveis de interesse do que dados, pelos que se demonstra necessário utilizar várias fontes de interesse, onde os dados devem convergir numa ideologia de triangulação (Yin, 2009).

Na realização de uma investigação, uma estratégia assente num caso de estudo tem a capacidade de gerar novo conhecimento a partir das pesquisas ao fenómeno estudado no seu contexto de vida real, trazendo novas descrições empíricas e o desenvolvimento da teoria (Saunders, Lewis & Thornhill, 2016). Dubois e Gadde (2002) defendem também que a interação entre um fenómeno e o seu contexto é melhor entendida a partir de um caso de estudo aprofundado.

3.2. Recolha de dados

A recolha de dados para o presente estudo foi feita principalmente através de entrevistas semiestruturadas a múltiplos informantes chave, com o objetivo de recolher a informação mais relevante, válida e fiável, de forma a alcançar todos os objetivos de estudo. Para tal, houve que proceder previamente à consulta de informação pública da empresa bem como à consulta de informação, nacional e internacional, relativa ao sector de mercado em que a Aleluia Cerâmicas está inserida. Primeiramente, foi definido pelo autor obter as três perspetivas diferentes acerca do projeto, entrevistando os responsáveis da Aleluia Cerâmicas (Cliente), os elementos da Vodafone, envolvidos no planeamento e execução do projeto e os elementos do parceiro tecnológico da Vodafone, ThinkDigital. No entanto, devido aos constrangimentos causados pela COVID-19 foi impossível realizar a entrevista com a ThinkDigital.

Ainda assim, foram recolhidas informações dos três elementos da Aleluia, da *IoT Specialist*, que contribuiu para este estudo com a explicação detalhada do funcionamento do sistema implementado, *Vodafone Smart Factory*, e responsável por adaptar a solução ao cliente e por sugerir formas de solucionar as suas necessidades, e da gestora de projeto, que foi questionada principalmente acerca das dificuldades sentidas durante o mesmo. O facto de contar com várias perspetivas visa acrescentar valor ao estudo e perceber de que forma as várias partes do projeto em análise percecionam as vantagens das tecnologias desta nova revolução industrial.

De acordo com Saunders et al. (2016), devido à natureza exploratória da investigação, as entrevistas devem ser semi-estruturadas e dependem bastante da qualidade das contribuições dos que participam. Por esta razão, procurou-se fazer o maior número de entrevistas possível.

As entrevistas semiestruturadas são de carácter flexível, idealmente feitas num ambiente informal, combinando perguntas abertas e fechadas, onde o informante tem a possibilidade de discorrer sobre o tema questionado, tendo assim mais liberdade para formular a sua resposta. Estas entrevistas permitem também que o entrevistador delimite a informação pretendida, e que o mesmo a oriente para o tema de interesse ou de uma cobertura mais profunda em assuntos com maior relevância que o entrevistado possa eventualmente abordar. Na tabela seguinte é apresentado um resumo das entrevistas

realizadas com as várias partes intervenientes. O guião de entrevista utilizado é apresentado no anexo A.

Tabela I: Caraterização das entrevistas realizadas

Entrevista	Duração (m)	Data	Empresa	Função
E1	32:22	20/10/2020	Aleluia Cerâmicas	Diretor Geral
E2	43:32	23/10/2020	Aleluia Cerâmicas	Diretor de Operações
E3	39:37	29/10/2020	Aleluia Cerâmicas	Diretor de Redes e Sistemas de Informação
E4	26:55	19/09/2020	Vodafone	<i>Internet-of-Things Specialist</i>
E5	12:13	05/11/2020	Vodafone	Gestor de Projeto

3.3. Estudo de Caso

Esta secção, antes de apresentar os resultados, compreende uma breve apresentação da empresa alvo de estudo, do seu processo produtivo e da caraterização do sistema implementado.

3.3.1 Aleluia Cerâmicas

A Aleluia Cerâmicas é uma empresa bem consolidada e líder nacional na produção e decoração de pavimentos, sendo uma referência no mundo cerâmico. A empresa conta com cerca de 430 colaboradores e 3 unidades fabris e está focada na produção e venda dos seus produtos: revestimento e pavimentos cerâmicos, porcelanato, porcelanato extrudido, azulejaria tradicional e pintura manual. Está presente nos cinco continentes e em mais de 60 países, com uma rede de mais de uma centena de distribuidores e 700 retalhistas, exportando 70% da sua produção.

A história da Aleluia remonta ao ano 1905 quando a empresa foi fundada no distrito de Aveiro, com a designação Fábrica de Louça dos Santos Mártires, por João Aleluia, com o principal objetivo de produção de louça doméstica, no distrito de Aveiro. Em 1973, apesar do crescimento favorável da empresa, dificuldades sentidas pelos irmãos levam os mesmos a vender a fábrica a uma sociedade anónima: Aleluia – Cerâmica, Comércio e Indústria, S.A. Em 2006, dá-se outra transformação organizacional na empresa, com a fusão de várias empresas portuguesas, detentoras de algumas das principais marcas de cerâmica – Aleluia, Ceramic, Apolo e Viúva Lamego – da qual resulta a Aleluia Cerâmicas, o maior grupo cerâmico de capital 100% português. Hoje, depois de mais de cem anos de atividade no setor, a Aleluia Cerâmicas é uma empresa tecnologicamente avançada.

A missão da empresa passa por conceber, fabricar e vender os seus produtos cerâmicos de maneira a maximizar a fiabilidade dos mesmos e dos seus serviços, criando valor acrescentado e tendo como objetivo a minimização do impacto ambiental. Já os valores associados aos seus produtos são “Inovação, Qualidade e Design”, disponibilizando soluções estéticas e inovadoras, que se adaptam às mais variadas preferências e contextos.

3.3.2 Processo Produtivo

A empresa tem múltiplas linhas de produção espalhadas pelas suas unidades. Apesar de ligeiras diferenças, consoante a unidade, cada uma destas linhas é constituída essencialmente por: duas prensas, dois secadores, duas linhas de vidrar, um forno e finalmente duas escolhas. A escolha é o processo de seleção qualitativa das peças depois das mesmas saírem do forno. A escolha vai permitir perceber se a peça é de “primeira”, caso em que cumpre todos os parâmetros e requisitos de qualidade definido, ou se, pelo contrário, a peça é de “segunda”, não cumprindo os parâmetros mínimos de qualidade. Estas últimas são separadas das primeiras para que sejam vendidas a um preço reduzido. Depois da linha de vidragem as peças estão decoradas e prontas para ir ao forno. Para isto, as peças são transportadas por *Laser Guided Vehicles (LGVs)* para um parque, onde ficaram até serem cozidas. No fim, quando as peças saem da produção, é associado a cada

palete um código de barras. Ao chegar ao armazém é feita a leitura do código que fica em sistema e, posteriormente, é feita a arrumação, permitindo à empresa conhecer a localização de cada uma das paletes.

3.3.3 Caracterização do Solução Vodafone Smart Factory

O projeto em análise visa a implementação de um projeto piloto numa das linhas produtivas da empresa Aleluia Cerâmicas, designada por *Vodafone Smart Factory*. Esta solução, criada pela Vodafone em parceria com a ThinkDigital, permite aportar valor acrescentado nas mais variadas componentes da gestão industrial, desde o apoio à venda até à gestão da produção, passando pela recolha de dados em chão de fábrica e pelo fornecimento de indicadores de performance industrial. A *Vodafone Smart Factory* é uma solução de gestão integrada que permite não só centralizar toda a informação recolhida pelos vários sistemas instalados em chão de fábrica como também gerir essa informação de forma simples, integrada e profissional.

De uma forma sucinta, um projeto de implementação desta solução contempla as seguintes etapas:

- Fornecimento de equipamentos para aquisição de dados em chão de fábrica;
- Formação relativa à utilização da plataforma
- Configuração e ativação dos serviços e plataformas;
- Comunicação de dados na rede privada da Vodafone relativa a todos os equipamentos instalados;
- Acesso às plataformas *Cloud*.

A solução *Vodafone Smart Factory* é suportada pela rede móvel da Vodafone, sendo assim possível garantir os mais rigorosos níveis de segurança da informação, onde todas as comunicações são transportadas pela rede móvel sem que os equipamentos e a informação fiquem expostos aos riscos da Internet. Os dados quantitativos, relativos às peças que estão a passar na linha, são extraídos de forma automática, através dos sinais das fotocélulas, colocadas cuidadosamente em pontos-chave das linhas. Nos sítios onde não seja possível recolher indicadores de forma remota é fornecido um *tablet*, onde são inseridos os dados, nomeadamente na fase da escolha. Estes dados, sejam retirados de

fotocélulas ou através de um *tablet*, dados são depois enviados através das *Gateways Vodafone* para a *Cloud*. Posteriormente, mas ainda na *Cloud*, a informação é processada de forma a estar imediatamente disponibilizada e estruturada em gráficos, esquemas e indicadores. Podem ser consultados *screenshots* da plataforma no Anexo B.

Como referido anteriormente, a solução tem uma abordagem totalmente modular, permitindo aos clientes, de acordo com as necessidades dos seus negócios, a construção da sua própria *Smart Factory*. Desta forma, cada projeto é desenvolvido e adaptado especificamente para cada cliente. Assim, dentro do contexto do *Smart Factory*, a Vodafone disponibiliza aos seus clientes a possibilidade de subscreverem inúmeros módulos, nomeadamente, a gestão de consumos (energia, gás, água, *etc.*), a ligação dos equipamentos à internet através de autómatos ou instrumentação industrial, a performance industrial (através de *dashboard* com indicadores de performance) e a manutenção dos equipamentos (através da leitura da voltagem destes). Estes foram os módulos adjudicados pela Aleluia Cerâmicas.

Com o objetivo de implementar este sistema, é realizado o *site-survey* e várias reuniões que resultam no levantamento dos equipamentos, circuitos e locais a monitorizar. No caso da Aleluia Cerâmicas foram identificados os seguintes:

Tabela II: Equipamentos Monitorizados

	Monitorização Energética	Monitorização do gás	Monitorização da Produção
Posto de Transformação 1	X		
Posto de Transformação 2	X		
Posto de Transformação 3	X		
Ponto de Redução e Medida		X	X
Forno 3	X	X	X
Prensa 5 e 6	X		
Virador 5 e 6			X
Secador 5 e 6	X	X	
Linha de Vidragem 5	X		X
Linha de Vidragem 6	X		X
Aspiração 5 e 6	X		
Máq. Escolha Automática 1 e 2	X		Tablet
Máq. Carga	X		
Máq. Descarga	X		
Túnel de aquecimento	X		

ANÁLISE DOS RESULTADOS

De forma a analisar os resultados obtidos, o presente capítulo é dividido em quatro secções: motivações, vantagens, dificuldades e resultados resultantes da implementação desta solução baseada em tecnologias da Indústria 4.0.

4.1. Motivações

O primeiro objetivo deste trabalho consiste em perceber as motivações que levam a empresa em análise a implementar esta solução sustentada pelas tecnologias da Indústria

4.0. Os resultados das três entrevistas, realizadas ao Diretor Geral (E1), ao Diretor de Operações (E2) e ao Diretor de Redes e Sistemas de Informação (E3) permitiram concluir que existem inúmeras motivações que se podem categorizar em três tipos diferentes: as que estão relacionadas com a monitorização dos consumos, as que estão relacionadas com a monitorização do processo produtivo e as que estão relacionadas com a disponibilização de informação aos operadores em chão de fábrica.

A Aleluia é uma empresa consumidora intensiva de energia e gás. Isto faz com que a estrutura de custos da sua atividade seja constituída por uma parcela elevada de despesas com os consumos. Assim, a monitorização dos consumos de gás e eletricidade têm a mesma finalidade: apurar onde, quando e quanto consomem e para além disto, detetar eventuais problemas nos equipamentos. De uma forma geral, para além de querer reduzir os seus custos com consumos de gás e eletricidade - *“...outra motivação era diminuir os custos que temos com a energia e gás” (E3)* - a Aleluia anseia conseguir responder rapidamente a problemas nos seus equipamentos de forma a que o equipamento não pare de funcionar. O desejo da Aleluia de monitorizar o seu processo industrial tem várias motivações, nomeadamente integrar processos que consomem tempo aos seus colaboradores e, conseqüentemente acabar com o controlo e recolha de informação feita pelos mesmos - *“queríamos integrar alguns processos que atualmente são muito consumidores de tempo na empresa e que por serem feitos manualmente, por passarem por muitas pessoas acaba por estar excessivamente sujeito ao erro humano.” (E1)*. Por fim, tem ainda como motivações o controlo em tempo real da produção e o armazenamento de dados.

Previamente à implementação do projeto, o controlo era feito pelos colaboradores, que apuravam as informações solicitadas pela gestão (quantidades em várias partes da linha e uma vez por dia os consumos de energia e gás), usando uma tabela, em papel, que iam preenchendo ao longo do dia. No final do dia, a informação era centralizada, pela gestão, numa folha Excel, com o objetivo de posteriormente serem elaborados relatórios e mapas de produção. Isto levou a que a gestão se deparasse com uma discrepância entre a informação recolhida em chão de fábrica, pelo operador, e o stock efetivamente em armazém, tendo identificado como possível causa o erro humano. Assim, com este projeto a Aleluia procura solucionar ambas as questões, já que a recolha de dados passa a ser automática, eliminando a necessidade de interação humana. Para além disto, foi também

possível rentabilizar as fotocélulas para que, através da *Internet-Of-Things*, seja possível consultar a informação em tempo real sempre que se queira, acedendo à plataforma *Smart Factory*, já que, antes da implementação, os relatórios e mapas de produção apenas eram elaborados numa base mensal e semanal, respetivamente: “... *foi termos aqui uma série de indicadores e valores diários, semanais, mensais, por campanha ou por formato, que vão dar suporte à gestão. Queremos ter estes mesmos indicadores, mas queremos tê-los de uma forma fiável, com menos influencia do erro e ação humano, para libertar pessoas para outras funções e queremos ter estes dados tratados sem ter pessoas que só fazem isso.*” (E2). Assim, procuravam uma ferramenta que disponibilizasse a informação em tempo real, dispendo-se também a armazená-la para análises e comparações futuras.

Segundo o Diretor Geral da Aleluia, existe um indicador incontestável, utilizado há já bastantes anos e apelidado de “consumo específico”, que espelha a eficiência e a qualidade da produção, combinando o consumo de gás e eletricidade com os metros quadrados produzidos. Este indicador era, antes do projeto, apurado no final de cada campanha, que tem a duração de cerca de um mês, o que representava uma fragilidade para a organização, no sentido em que a gestão da empresa não tinha informação atualizada para detetar eventuais ocorrências: “...*há um indicador que é calculado mensalmente, e que para nós é fundamental, ..., por outras palavras é a prova dos 9 da eficiência no nosso processo produtivo*” (E1).

A terceira motivação da empresa era a de obter informações para disponibilizar aos colaboradores em chão de fábrica, ao invés de circular informação em mapas de acompanhamento. O objetivo era informá-los da sua prestação atual e compará-la com os objetivos definidos pela empresa: “...*queremos estabelecer indicadores e objetivos, através de um ecrã, para o nosso pessoal do chão de fábrica, foi também uma das motivações desde projeto. Mostrar às pessoas como é que elas estão em comparação com o objetivo da empresa ... de uma forma muito menos pesada em termos de trabalho, e mais digital*” (E2).

Assim, com as motivações definidas e as necessidades identificadas a Aleluia Cerâmicas decidiu aderir ao projeto piloto *Vodafone Smart Factory*.

4.2. Vantagens

O segundo objetivo do estudo era o de perceber quais as vantagens identificadas pela Aleluia Cerâmicas como resultando desta implementação. As respostas dos entrevistados, no que diz respeito aos benefícios da utilização de soluções baseadas na Indústria 4.0, permitiu identificar três vantagens principais: as que provêm da monitorização dos consumos, as que provêm da monitorização do processo produtivo e as que provêm do sistema como um todo.

As vantagens alcançadas com a implementação do sistema de monitorização dos consumos de gás e eletricidade são as mais diretas e simples. Esta implementação permite à empresa atuar de forma rápida e eficaz na abordagem a este tipo de questões e à sua resolução. Por exemplo, o entrevistado E2 refere que: “...*com este controlo, é possível identificar uma eventual fuga de gás em tempo real, enquanto que antigamente apenas era possível identificar estas situações no fim de uma campanha*”. No seguimento deste raciocínio, e porque é possível a qualquer momento consultar, na plataforma, o que está a ser consumido, podem ser criados alertas para que, quando determinado equipamento esteja a registar consumos atípicos, o responsável produtivo seja notificado de forma a resolver a situação o mais rapidamente possível, antes de haver a necessidade de interromper a produção: “...*é-nos lançado um alerta, de forma a que possamos atuar rapidamente...*” (E3). Paralelamente, é também possível identificar em que estado se encontram os equipamentos através da leitura e análise de determinados parâmetros energéticos que espelham o seu estado de degradação, com o objetivo de agendar a manutenção o mais rapidamente possível para evitar a interrupção da produção. O armazenamento desta informação é também proveitoso para a empresa já que é possível reconstituir o que aconteceu nas horas em que o acompanhamento não foi tão direto.

Em segundo, as vantagens provenientes do controlo do processo produtivo, segundo o Diretor Geral, são muito grandes. Primeiramente, provou-se possível eliminar o prévio processo de controlo, feito pelos colaboradores em chão de fábrica com recurso a observação e recolha num papel, considerado pelos diretores como sendo uma tarefa rotineira que não traz qualquer valor à atividade e, para além disto, por ser feita humanos, estava demasiado sujeita ao erro, isto é, à recolha errada da informação: “...*por si só não traz valor acrescentado. O valor vem depois na análise.*” (E1). Assim, para além dos

colaboradores ficarem disponíveis para outras tarefas mais importantes, onde possam tirar partido das suas capacidades, permite à empresa uma recolha de informação mais rigorosa e *fault-free*, que trará mais qualidade às análises futuras. Para além disto, foram detetadas inúmeras vantagens no que toca ao controlo do processo produtivo. Permitiu que a Aleluia soubesse, em tempo real, quantas peças, em metros quadrados, tinham prensado, decorado ou cosido de forma a apurar vários indicadores. Segundo o Diretor Geral, foi já durante a implementação que, através da abertura da ThinkDigital, a Aleluia percebeu que poderia começar a controlar a sua produção por referência. De facto, o E3 indicou que ao longo das reuniões feitas com a ThinkDigital: “...*fomos descobrindo novas possibilidades ao longo do caminho.*” (E3). A Aleluia tem cerca de 20 formatos diferentes no seu portefólio de peças, no entanto, depois de serem decoradas, esses formatos originam mais de 5000 referências de peças. Ou seja, permitiu um controlo mais fino e detalhado da sua produção já que, agora a Aleluia recolhe automaticamente toda a informação da peça, ou seja, o seu formato e a decoração: “...*possibilidade de encontrar com detalhe problemas de qualidade e encontrar as referenciais associadas a esses problemas.*” (E1).

Outra vantagem alcançada relaciona-se com o facto de tudo o que foi mencionado no parágrafo anterior ser de fácil acesso e em tempo real, com recurso a qualquer dispositivo com acesso à internet. Este é um dos frutos colhidos pela tecnologia *Internet-of-Things*, já que as fotocélulas instaladas nos equipamentos estão conectadas à internet e em constante partilha de informações com a plataforma em *cloud*: “*Paralelamente, tendo esta capacidade na recolha de informação de forma digitalizada, permite-nos trabalhar no imediato*” (E2). No entanto, apesar de tanto a monitorização dos consumos como o processo industrial originarem inúmeras vantagens, é no sistema como um todo, isto é, na soma das várias componentes deste projeto, que estão concentradas as maiores vantagens. Isto acontece de tal forma que, por exemplo, para viabilizar a implementação de um ecrã em chão de fábrica com informações relevantes para os operadores, é necessário que o controlo dos consumos e do processo estejam já instalados, visto que ambas as fontes de dados são necessárias para criar os indicadores e para a sua posterior apresentação no *dashboard*.

Com o objetivo de dar suporte ao sistema, existe uma plataforma baseada em *Cloud*, a *Smart Factory*, à qual o cliente pode facilmente aceder para consultar toda a

informação da sua fábrica. No caso da Aleluia, essas informações estão associadas ao controlo do consumo de gás e energia e do processo produtivo e dão à empresa capacidade de calcular indicadores e métricas de produção e distinguir a produção por referência do produto, correlacionando-a com a restante informação dos consumos. As informações são recolhidas, processadas e disponibilizadas. Com recurso aos *tablets* disponibilizados em chão de fábrica, é possível definir o início de uma campanha, detalhando o novo formato e referência, e o seu fim, já que não faz sentido comparar consumos específicos de peças diferentes. Ou seja, quando é iniciada uma nova campanha, a plataforma precisa de saber que tem de deixar de considerar os consumos e leituras feitas na campanha anterior para começar um novo registo: “...o chefe de turno inicia a campanha, define o formato e a referência e a partir daí os dados são recolhidos automaticamente” (E2).

É nesta plataforma que os dados produtivos são combinados com os dados de consumo para calcular o consumo específico de cada campanha, ou seja, relacionam-se os metros quadrados produzidos com os consumos feitos pelos equipamentos. A plataforma permite também gerar relatórios automáticos com base na informação recolhida para eventuais momentos de decisão ou apenas para controlar o processo: “...relatórios que são necessários retirar pela gestão e são feitos automaticamente pela plataforma, com base nos dados recolhidos pelas fotocélulas.” (E3). Devido à fusão das duas fontes de dados e à ligação dos equipamentos à internet, é possível ter acesso ao seu funcionamento e prestação de forma extremamente detalhada, e até pedir que, de forma remota, um fornecedor faça um check-up a um equipamento.

O processo produtivo da Aleluia funciona 24 horas por dia, sete dias por semana, parando apenas três semanas durante o ano para manutenção de equipamentos. Assim, a qualquer momento, especialmente em turnos noturnos, quando não há diretores presentes, é possível aceder à plataforma para consultar o estado atual da produção, sem ser necessária a deslocação física à fábrica. Isto é percebido pelos diretores como uma vantagem, visto que os problemas não escolhem dias nem horas, aparecendo de forma imprevisível: “...ter esta informação disponível online favorece logo a atividade, já que as pessoas não têm de se deslocar à fábrica, conseguindo ter uma perspetiva do problema remotamente” (E1).

Como foi mencionado anteriormente, é necessário que várias componentes do sistema estejam implementadas para que um novo leque de vantagens seja alcançado, nomeadamente o *digital screen* colocado em chão de fábrica. O ecossistema desta solução permitiu que a informação recolhida, tanto no que toca à produção como no que toca ao consumo de gás e de eletricidade, seja processada em *Cloud* e disponibilizada diretamente para os operadores em chão de fábrica, num ecrã, onde se podem mostrar todo o tipo de informações relacionadas com a campanha atual. Assim, este módulo permitiu à Aleluia informar os colaboradores, por exemplo, se o consumo específico está acima ou abaixo do objetivo e perceber se uma má prestação é resultado do trabalho da força produtiva ou de uma eventual falha num equipamento: “... os gráficos mostram-nos logo, à hora, se estamos ou não a produzir dentro do esperado, acima ou abaixo e permite ver logo o que é preciso fazer para que a qualidade seja melhor.” (E3).

4.3. Dificuldades

O terceiro objetivo deste estudo é perceber quais as dificuldades associadas a este tipo de implementações. Para tal, e de forma a recolher duas perspetivas diferentes, foi questionado aos três informantes da Aleluia, e também ao Gestor de Projeto (E5) quais tinham sido as principais dificuldades identificadas ao longo do projeto.

De acordo com a Gestora de Projeto, as soluções de *Smart Factory* são projetos demorados e que dependem de variadíssimos fatores, entre eles da disponibilidade dos clientes: “*dependem muitas vezes de paragens em chão de fábrica para serem concluídas, o que nos obriga a ter a máxima sensibilidade e garantir um equilíbrio entre cumprimentos de prazos e não invasão no negócio do Cliente*”. (E5)

Com a conclusão da fase de implementação foi possível identificar quais foram as principais dificuldades ao longo deste projeto tripartido, entre a Aleluia Cerâmicas, a ThinkDigital e a Vodafone. A primeira, mencionada pelo Diretor de Redes e Sistemas de Informação, trata-se da idade que as várias unidades e os respetivos equipamentos da empresa têm: “...a fábrica já tem alguma idade, o que faz com seja mais difícil implementa uma solução da Indústria 4.0”. Uma das explicações é o facto de a produção cerâmica ser uma atividade já centenária que remonta a séculos passados. Outra

dificuldade causada pela longevidade dos equipamentos em chão de fábrica é o facto de estes terem um circuito fechado, isto é, não é possível configurar o software interno do equipamento de forma a que ele faça a leitura na linha e posterior partilha para *cloud*, e assim, por forma a ultrapassar este problema, foi necessário colocar fotocélulas. Também E5, indicou que este projeto exigia que fossem feitas pequenas obras em chão de fábrica para que fosse possível começar a fazer implementação dos equipamentos, que permitiriam a monitorização da energia e gás.

Outra dificuldade, mencionada por todos os entrevistados, está associada à derrapagem dos prazos definidos no início da implementação. Estes prazos foram principalmente afetados pela validação da fiabilidade dos dados extraídos, de forma a perceber se os valores recolhidos estavam, ou não, de acordo com a produção efetiva. Aqui existiram problemas relativamente às fotocélulas instaladas em linha, por exemplo: *“os sensores estavam demasiados sensíveis, só passava uma peça e o sensor recolhia três”* (E3). Com o objetivo de minimizar as diferenças, foi necessário ajustar e calibrar até estar de acordo com a produção real para que o rigor do controlo não seja colocado em causa. Este processo de configuração das fotocélulas demorou mais do que era esperado e conseqüentemente atrasou também os prazos seguintes definidos para o projeto: *“Tudo isto fez com que o processo demorasse mais algum tempo...”* (E2); *“era suposto que tivesse acontecido em 4 ou 5 meses e acabou por ser um ano.”* (E1). Segundo o Diretor Geral, felizmente houve compreensão mútua entre as partes, visto que não havia nenhum especialista de Indústria 4.0 do lado da Aleluia, nem especialista de cerâmica do lado da ThinkDigital.

Também o Gestor de Projeto abordou as questões da derrapagem dos prazos, indicando que teve de enfrentar um desafio onde: *“por um lado o cliente descontente e por outro o parceiro a solicitar tempo para poder fazer uma série de testes e despistes para identificar a origem do problema”* (E5). Finalmente foi identificado o problema que consistia na troca de equipamentos. O parceiro salvaguardou a troca, tendo esta sido bem aceite pelo Cliente, com a perspetiva de fechar o projeto.

O Diretor Geral, quando abordado acerca de ter na empresa alguém especializado, respondeu que teria sido interessante ter contratado alguém com esse objetivo, no entanto, a estratégia de contenção de custos da empresa não o permitiu. Apesar disso, o mesmo

entende ser *“mais importante que as pessoas que vão usar a nova ferramenta saibam tirar partido da mesma e percecionem vantagens a partir dela.”* (E1).

Ainda que não seja uma dificuldade sentida durante a implementação do projeto, os investimentos elevados necessários para a concretização da Indústria 4.0 são também considerados pelo E3 um constrangimento: *“(...) são investimentos bastante elevados (...)”*.

4.4. Resultados

Por fim, de forma a cumprir com todos os objetivos definidos, foi questionado aos entrevistados quais eram os resultados constatados, positivos ou negativos, da concretização deste projeto. No entanto, antes de apresentar os resultados obtidos com a implementação deste projeto piloto é importante referir que: *“...apesar de estar numa fase final de implementação, está numa fase embrionária de exploração”* (E2), pelo que podem ainda vir a ser encontrados resultados, ou até fragilidades, que não tinham, até à data das entrevistas, sido percecionados. Consequentemente, os três entrevistados, apesar de já conseguirem listar inúmeros resultados, advertiram o autor sobre o facto de ainda não terem sido elaborados os relatórios e as respetivas mensurações para perceber como é que esta implementação veio afetar a empresa.

Os resultados podem ser ramificados através da sua origem, isto é, existem três principais fontes de resultados neste projeto: a informação que é disponibilizada à gestão da empresa (produção e consumos), a capacidade de a empresa ter a informação em tempo real e a eficiência energética.

Segundo o E1, devido à capacidade que a empresa tem, nomeadamente a gestão, com um arquivo de informação de fácil consulta, de supervisão da produção e de diagnóstico dos problemas à nascença, é esperado que *“a intervenção aconteça também mais depressa”*. Isto representa um aumento na capacidade de resposta da empresa e, por isso, há condições para melhorar os níveis de eficiência e qualidade e evitar interrupções na produção. Isto traz a possibilidade de determinar, com detalhe, problemas de qualidade ou no processo através de análises cuidadosas, percebendo qual a referência associada ao

respetivo problema, sempre com o foco na melhoria contínua do processo: “... *permitir à empresa ter maiores níveis de eficiência, qualidade, e eficácia e menos quebras na nossa atuação*” (E1). O Diretor Geral indica ainda que é fundamental ter informação de qualidade nas tomadas de decisão, “...*sobretudo quando se trata do processo de melhoria contínua...*”, de forma a perceber se estamos efetivamente a melhorar com as mudanças implementadas.

De acordo E2, com esta implementação, a empresa passou de um ciclo de controlo diário, onde era pedido que as várias unidades apurassem e reportassem os seus números; para um controlo em tempo real, mas para além disto, e devido à informação em tempo real e ao processamento dos dados em *Cloud*, é possível consultar o consumo específico a qualquer momento. Isto permite que a Aleluia tenha, em tempo real, conhecimento da sua eficiência atual no que diz respeito à utilização dos recursos disponíveis: “... *aquele indicador importante para nós que era apurado mensalmente e agora passamos a tê-lo em tempo real. Aqui é possível identificar que há ganhos muito grandes em termos de tempo de resposta*” (E1). A informação disponibilizada em tempo real dá também à empresa a capacidade de implementar o *dashboard* em chão de fábrica com o intuito de motivar os seus colaboradores e levá-los ao encontro dos objetivos da empresa. E1 tem grandes expectativas de que a produtividade dos seus colaboradores aumente: “...*esta informação para as pessoas da fábrica, para além do valor da informação, tem um efeito motivador de as incentivar a trabalhar para objetivos*” (E1).

Segundo o Diretor Geral, numa indústria que tem laboração contínua, ter informação em tempo real permite o controlo da operação de forma rigorosa, eficaz e completa. Citando o E3, “*podemos começar a ser proactivos, isto é, podemos conduzir o processo em vez de estar à espera de resultados e definir medidas corretivas*”.

A monitorização da eletricidade e gás resultou também num aumento da eficiência dos consumos e oferece à empresa a possibilidade de compreender o seu perfil de consumo de gás e energia e, posteriormente, aumentar a sua eficiência com as devidas ações corretivas. É também expectável que: “... *ao atuar mais rapidamente, se detetarmos um problema logo à nascença isso vai afetar indiretamente a qualidade já que a taxa de segunda vai baixar*” (E3), ou dito de outra forma, aumentar a percentagem de peças “de primeira” (qualidade) produzidas num lote. Consequentemente, a Aleluia

“consegue reduzir os seus custos devido aos aumentos de eficiência nos seus consumos, o que permitirá baixar o preço de venda” (E2). No mundo cerâmico, segundo o E2, “...a concorrência é feita à base da qualidade e do preço, assim, diminuir o preço afeta diretamente competitividade da empresa positivamente”. O diretor geral mencionou ainda que, por serem consumidores intensivos de energia, é extremamente significativa, através da eficiência energética, conseguir diminuir a pegada de carbono da empresa, conseguindo adotar uma atividade mais sustentável: “...temos expectativa que este projeto contribua claramente para melhorar nossa eficiência energética e conseqüentemente a nossa sustentabilidade.” (E1).

5. CONCLUSÕES

Como seria de esperar, é considerado, através das entrevistas realizadas aos elementos da Aleluia Cerâmicas, que esta implementação teve mais impactos positivos do que negativos nas operações e gestão da empresa. Apesar de ser visível que a Aleluia não alcançou ainda a *Smart Factory* mencionada por Kagermann *et al.* (2013), dado que a Indústria 4.0 é muito mais que a monitorização das atividades da empresa, é já possível identificar inúmeras vantagens que se aproximam do que foi mencionado ao longo da revisão da literatura.

Relativamente à primeira questão de investigação, verificou-se, através da análise da informação, que recolher e armazenar a informação em tempo real era uma das motivações da Aleluia. O objetivo era posteriormente serem feitas análises de forma a entender melhor o processo. Isto vai de encontro ao que defende Gilchrist (2016) quando indica que a *Big-Data* é um dos grandes motivadores e catalisadores deste tipo de soluções, já que permite análises históricas, preditivas e prescritivas que fornecem um entendimento aprofundado sobre o processo produtivo. A literatura corrobora também com outra das motivações da empresa, mencionada pelo E1, relativamente à sua vontade de integrar processos que eram até então feitos manualmente pelos colaboradores, que faziam a recolha da informação de forma antiquada. Barreto *et al.* (2017) defende que a IIoT vem facilitar a integração de processos e sistemas revolucionando a produção, a logística e o planeamento de recursos para que se tornem mais eficazes e económicos.

Também Alcácer & Cruz-Machado (2019) consideram que um dos impactos positivos da Indústria 4.0 é a extinção do trabalho monótono e repetitivo, bem como das tarefas que exigem força em excesso, prática que foi identificada neste estudo de caso.

Passando à segunda questão de investigação, que procura identificar as vantagens, percebeu-se, através da recolha dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados em chão de fábrica, e com apoio do armazenamento da informação e da respetiva análise, é possível identificar o estado de degradação atual de um equipamento. Isto permite o agendamento de manutenção atempada que evita a interrupção desse equipamento, não pondo em causa todo o processo. Identicamente, Gilchrist (2016) defende que é possível desenhar, com precisão, rotinas para manutenções preditivas de máquinas e ativos, de forma a que estes se mantenham em produção durante mais tempo e reduzindo os custos operacionais.

Outra vantagem facilmente percebida depois da implementação deste projeto relaciona-se com o facto da vasta informação armazenada pela empresa se vir a demonstrar extremamente útil em momentos de tomadas de decisão. Segundo o E1, é fundamental ter informação de qualidade nas tomadas de decisão e isto vai de encontro ao que é encontrado na vasta literatura. Witkowski (2017) defende que a informação recolhida permite a análise e, posteriormente, a seleção da informação valiosa, de forma a suportar conclusões e fundamentar decisões importantes. McAfee & Brynjolfsson (2013) referem também que um dos aspetos chave da tecnologia *Big-Data*, é o impacto que tem sobre como as decisões são tomadas.

Foi explicado anteriormente que a monitorização do processo produtivo resulta em inúmeras vantagens. Permite que a Aleluia saiba, em tempo real, quais, e quantas peças estão a passar em cada parte da linha de produção. Posteriormente, é possível elaborar uma quantidade enorme de indicadores que servem de apoio à atividade. Gilchrist (2016) indica que o facto de os gestores ganharem controlo total sobre o processo produtivo permite otimizá-lo e, assim, aumentar a satisfação do cliente.

Tal como os informantes da Aleluia, também Gilchrist (2016) menciona que, com a elevada quantidade de dados extraída dos mecanismos de monitorização é possível, através de configuração, espelhar em *dashboard*, em tempo real, várias informações

referentes à produção. Não menciona, no entanto, que o objetivo é motivar os colaboradores.

Relativamente às dificuldades encontradas durante a implementação do projeto, e respondendo à terceira questão de investigação, foram também encontradas convergências quando comparamos o quadro teórico à informação recolhida. De acordo com Raj *et al.* (2020), são consideradas como barreiras à implementação de projetos da Indústria 4.0: investimentos elevados, falta de infraestruturas, falta de *skills* digitais e finalmente, desafios em garantir a qualidade dos dados. Todas as anteriores foram identificadas na recolha da informação à empresa em estudo.

Por fim, relativamente à quarta e última questão de investigação, é possível concluir que, apesar do apuramento dos resultados ainda estar a decorrer, foram já identificados vários resultados que derivaram da implementação deste projeto. Durante a entrevista ao E1, este indicou que o facto de a informação ser recolhida em tempo real era extremamente importante numa indústria que tem laboração contínua, pois permite um controlo da operação rigoroso, eficaz e completo. Também Gilchrist (2016) indica que a monitorização em tempo real é “fundamental num contexto industrial”.

É esperado que, devido à capacidade que a empresa tem de diagnosticar os problemas à nascença, através do controlo sobre o processo produtivo, exista um aumento da capacidade de resposta. Isto vai de encontro aos benefícios esperados da Indústria 4.0 enumerados por Gilchrist (2016) que menciona que ter esse controlo beneficia a empresa, tanto nos momentos de tomar decisões como na capacidade de resposta a ocorrências e mudanças de última hora.

No seguimento do aumento da capacidade de resposta, o Diretor Geral da Aleluia explicou que devido a esse melhoramento, havia condições para melhorar, conseqüentemente, a qualidade e eficiência do processo, bem como reduzir o número de interrupções na linha. Isto corrobora o que é apurado por Kagermann *et al.* (2013), que menciona que as tecnologias da Indústria 4.0 conduzem as empresas industriais a utilizar os seus recursos de forma mais eficiente, mas também como Gilchrist (2016), que incluiu aumentos de eficiência e redução de interrupções produtivas na lista de benefícios esperados com a Indústria 4.0.

Uma prova disso é a redução do número de peças de segunda por lote produzido, o que levará a um aumento das receitas, proveniente do preço superior das peças de primeira. Também foi possível diminuir os custos associados aos consumos de gás e eletricidade daquela linha. Isto confirma o que Kagermann *et al.* (2013) reiteram no seu estudo, ao indicar que a Indústria 4.0 vem resolver um dos maiores desafios que o mundo enfrenta neste momento, o da eficiência energética. Desta forma, a Aleluia consegue reduzir os seus custos operacionais e aumentar a receita com a venda de mais unidades de primeira. Segundo Gilchrist (2016), quando as empresas industriais são inquiridas quanto aos principais benefícios desta nova revolução industrial os mesmos referem o aumento de margens, o aumento do fluxo de receitas e a redução dos custos operacionais.

Em virtude de tudo o que foi mencionado, o estudo permite concluir que a Aleluia Cerâmicas implementou, com sucesso, uma solução baseada em tecnologias da Indústria 4.0. Foram estudados os motivos e reconhecidas as vantagens provenientes deste projeto piloto, foram identificadas as principais dificuldades e compreendidos os resultados, até à data da entrevista, decorrentes da implementação deste projeto. Assim, quando terminado o processo de mensuração dos resultados operacionais ganhos com a implementação, de acordo com o Diretor Geral e o Diretor de Operações, o objetivo será estender o projeto piloto às restantes linhas produtivas e unidades: “(...) *projeto piloto numa linha de produção numa das fábricas e se tudo correr bem esperamos estender isso a todas*” (E1), e “*O objetivo principal do projeto é acabar por estender este piloto para as 3 unidades produtivas*” (E2).

Espera-se que este estudo venha ajudar a gestão das empresas a perceberem melhor em que medida é que a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 pode afetar a atividade das suas empresas. O facto de apenas terem sido recolhidas informações de uma empresa adotante das tecnologias da Indústria 4.0 é considerado uma limitação do estudo, bem como a falta de literatura disponível relativa às motivações e dificuldades sentidas durante a implementação desde tipo de solução.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22:(3), 899-919.
- Arnold, C., Kiel, D., & Voigt, K.-I. (2016). How the Industrial Internet of Things Changes Business Models in Different Manufacturing Industries. *International Journal of Innovation Management*, 20(8), 1640015.
- Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22:(7), 97-114.
- Barreto, L., Amaral, A., & Pereira, T. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International journal of mechanical, industrial science and engineering*, 8(1), 37-44.
- Chen, M., Mao, S., & Liu, Y. (2014). Big Data: A Survey. *Mobile Networks and Applications*, 19:(2), 171-209.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., & Ayala, N. F. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Dubois, A., & Gadde, L.-E. (2002). Systematic combining: an abductive approach to case research. *Journal of Business Research*, 55(7), 553-560.
- George, G., Haas, M., & Pentland, A. (2014). Big Data and Management. *Academy of Management Journal*, 57:(2), 321-326.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29:(6), 910-936.
- Gilchrist, A. (2016). *Introducing Industry 4.0*. Berkeley, CA: Apress.

- Gusmeroli, S., Haller, S., Harrison, M., Kalaboukas, K., Tomasella, M., Vermesan, O., . . . Wouters, K. (2010). *Vision and challenges for realizing the internet of things*.
- Hemann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. *In 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928-3937). IEEE.
- IHS Markit. (2019). *Number of Connected IoT Devices Will Surge to 125 Billion by 2030*. Obtido de <https://technology.informa.com/596542/number-of-connected-iot-devices-will-surge-to-125-billion-by-2030-ihs-markit-says>.
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., & Eschert, T. (2017). Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. Em *Industrial internet of Things* (pp. 3-19). Springer: Cham.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Munich: Acatech.
- Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017). Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1-6.
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. *10th International Conference on Frontiers of Information Technology*, (pp. 257-260).
- Li, S., Xu, L. D., & Wang, X. (2013). Compressed Sensing Signal and Data Acquisition in Wireless Sensor Networks and Internet of Things. *IEEE on Industrial Informatics*, 9:(4), 2177-2186.
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big Data: The Management Revolution. *Harvard Business Review*, 90:(10), 60-68.
- Moreno, A., Velez, G., Ardanza, A., Barandiaran, I., de Infante, A., & Chopitea, R. (2017). Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the Industry 4.0 vision. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 11:(2), 365-373.

- Mouef, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., .. & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56:(3), 1118-1136.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitalization and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139.
- Perales, D., Valero, F., & Garcia, A. (2018). Industry 4.0: A Classification Scheme. Em E. Viles, M. Ormazábal, & A. Lleó, *Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering* (pp. 343-350). Cham: Springer.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64-88.
- Qi, Q., Tao, F., Zuo, Y., & Zhao, D. (2018). Digital Twin Service towards Smart Manufacturing. *51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*.
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173-178.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
- Reinsel, D., Gantz, J., & Rydning, J. (2018). *The Digitization of the World: From Edge to Core*. Framingham: International Data Corporation.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2016). *Research Methods For Business Students*. Harlow: Pearson.
- Schlaepfer, R. C., & Koch, M. (2015). *Industry 4.0: Challenges and Solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Zurique, Suíça: Delloite: Finance, Audit. Tax. Consulting. Corporate Finance.

- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*, (pp. 536-541).
- Vermesan, O., & Friess, P. (2014). *Internet of Things - From Research and Innovation to Market Deployment. IERC Cluster SRIA*, 29, 7-142. Ålborg: River Publishers.
- 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).
- Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - Innovative Solutions in Logistics and Supply Chain Management. *7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*. 182, pp. 763-769. Zielona Gora, Polónia: Procedia Engineering.
- Xu, D. L. (2014). A Novel Architecture for Requirement-Oriented Participation Decision in Service Workflows. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1478-1485.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56:(8), 2941-2962.
- Yin, R. K. (1994). *Case Study Research: Design and Methods*, 2^a Ed. Thousand Oaks: SAGE Publications.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*, 4^o Ed. Thousand Oaks: SAGE Publications.

7. ANEXOS

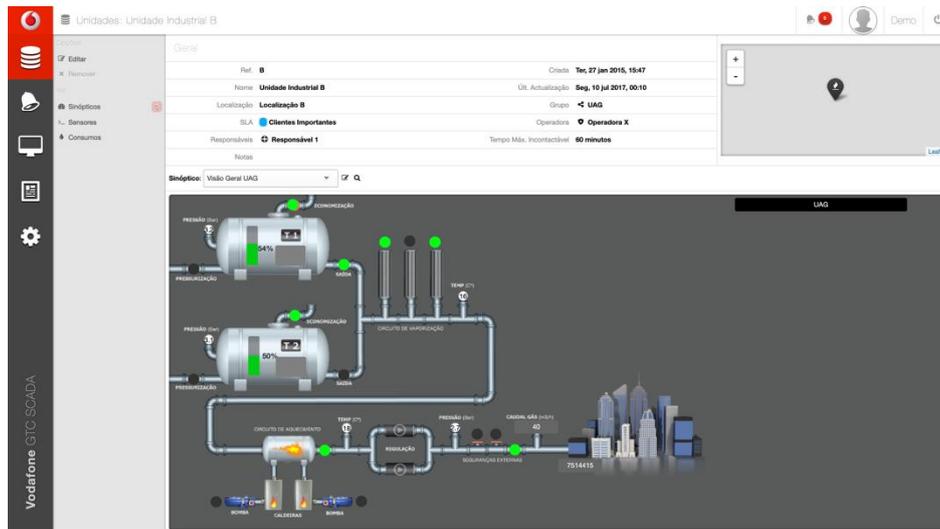
7.1. Anexo A – Guião da Entrevista

Esta entrevista insere-se no âmbito da recolha de dados para o trabalho final de mestrado em gestão e estratégia industrial. A finalidade será ter acesso a conhecimento pormenorizado do sistema Smart Factory implementado na Aleluia Cerâmicas e a forma como ele influenciou a organização e os seus processos.

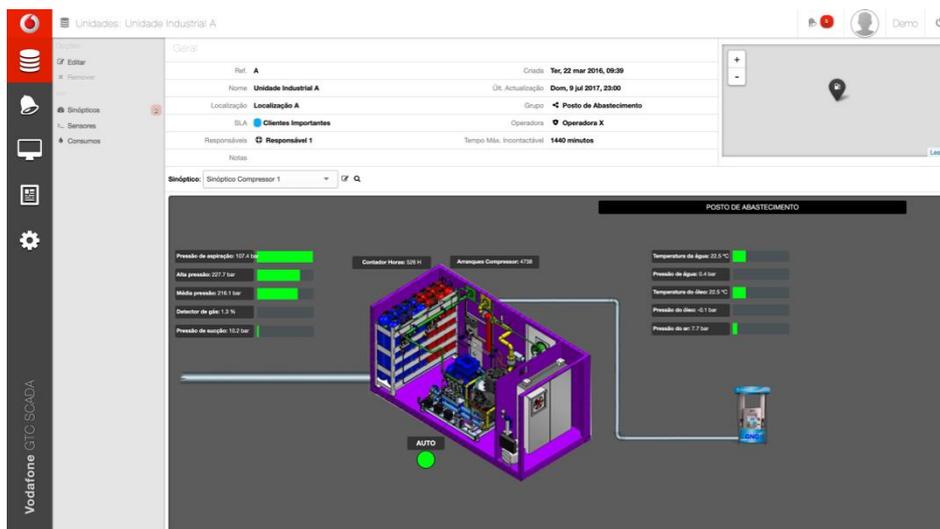
1. Na sua opinião quais as vantagens de implementar soluções baseadas em tecnologias da Indústria 4.0 nas organizações, em geral?
2. No caso da Aleluia Cerâmicas, quais as vantagens da implementação deste projeto?
3. Quais é que foram as razões que levaram a Aleluia a implementar esta solução?
 - a. Relacionado com clientes? Fornecedores?
 - b. gestão de topo fortemente envolvida?
 - c. Principais necessidades que a solução vem colmatar?
4. Quais foram os principais resultados obtidos com a implementação desta solução? Trouxe melhorias em termos de:
 - a. Qualidade?
 - b. Tempo de resposta?
 - c. Eficiência?
 - d. Sustentabilidade?
 - e. Reduzir custos?
 - f. Inovação do produto?
 - g. Aquisição de novos clientes?
 - h. Aumentar market share?
5. Como controlava a produtividade da sua empresa? Como era feita a recolha de dados?
6. No projeto de implementação foram definidos objetivos concretos?
 - a. Quais e em que medida é que os mesmos foram cumpridos?
 - b. Existiram resultados que não eram previstos?

7. Em que medida é que esta implementação obrigou à alteração de outras rotinas existentes dentro da organização?
8. Na sua opinião, quais as principais dificuldades sentidas na implementação do projeto.
 - a. Início
 - b. Durante
 - c. Após
9. Como é que sentiu a adaptação dos colaboradores a esta mudança tecnológica?
10. Nalguns projetos pode existir alguma rejeição dos colaboradores em aceitar novas formas de trabalhar diferentes das que sempre tinham feito até ao momento. No seu caso, como é que eles viram estas inovações?
 - a. Principais dificuldades de adaptação
 - b. Formações
 - c. Alterações de motivações
 - d. Houve colaboradores a tentar convencer os outros?
 - e. A formação académica destes colaboradores tem alguma relação com a forma como aceitaram o projeto?
11. De que forma é que esta implementação vem influenciar a competitividade da empresa no mercado em que atua? Conseguiram alcançar melhorias diferenciadoras? Em que aspetos?
12. Que outras tecnologias da Indústria 4.0 é que a já foram adotadas pela sua empresa?
13. E as que pensa implementar no futuro?

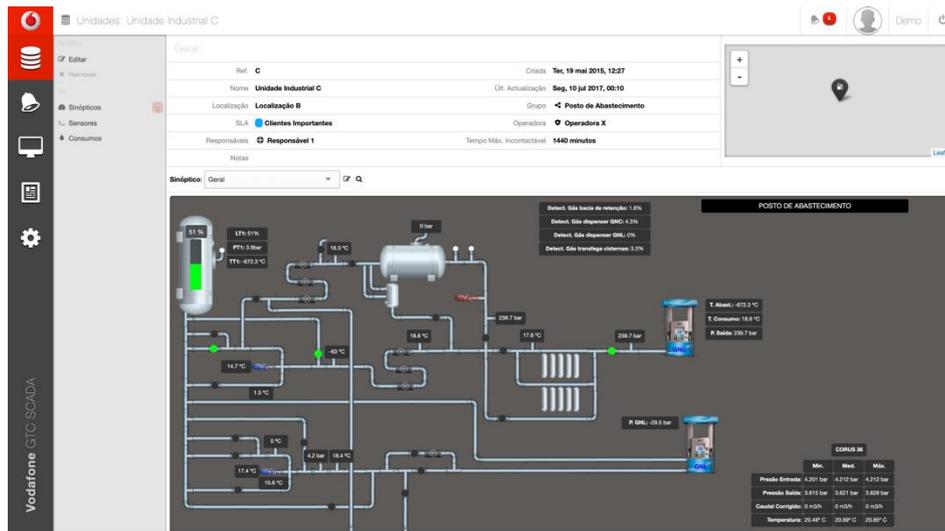
7.2. Anexo B – Plataforma *Vodafone Smart Factory* – Versão Demo



Anexo B1: Monitorização gás (demo).



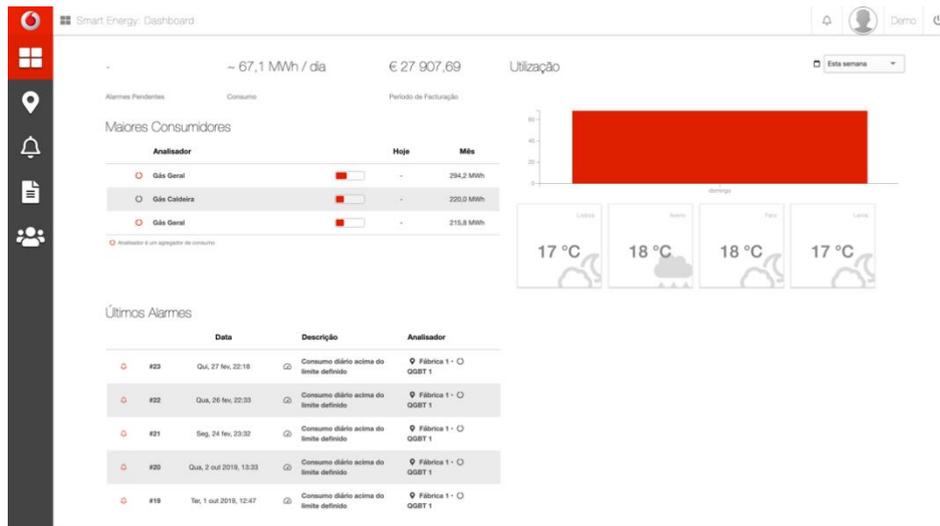
Anexo B2: Monitorização de equipamentos (demo).



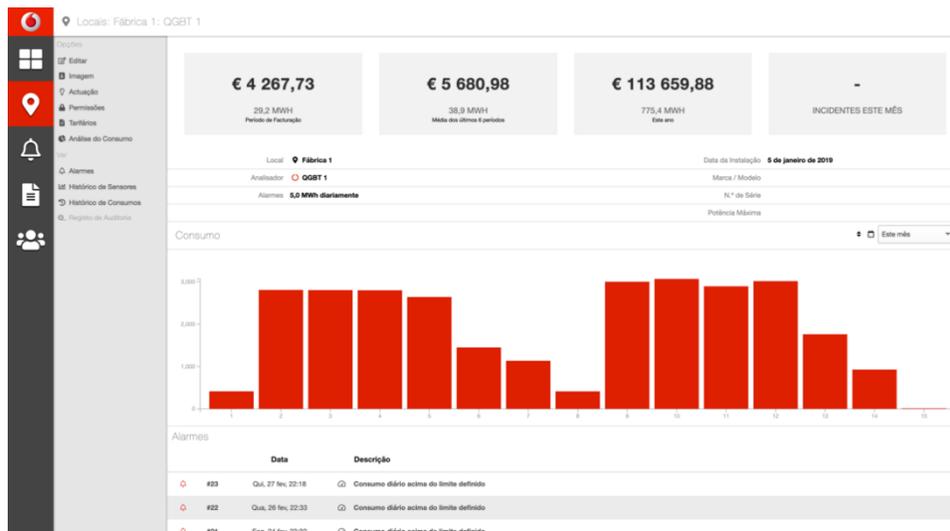
Anexo B3: Monitorização posto de abastecimento (demo).

Localis	Equipamento	Data	Valor
Fábrica 1	Gás Geral	-	-
	OGST 1	2019-01-05	13,0 kWh
	OGST 2	-	9,0 kWh
	Compressor 2	-	-
	Água Efluentes	-	-
	Compressor 1	-	100,0 Wh
	Água Industrial	-	-
	Gás Caldeira	-	-
Fábrica 2	Gás Caldeira	-	-
	Gás Geral	-	-
	OGST	2019-04-01	12,0 kWh
	Compressor 2	-	100,0 Wh
	Água Industrial	-	-
	Compressor 1	-	-
	Água Efluentes	-	-
	Air Comprimido	-	-
Fábrica 3	Gás Geral	-	-

Anexo B4: Lista de todos os equipamentos monitorizados (demo).



Anexo B5: Hub Central da monitorização dos consumos (demo).



Anexo B6: Monitorização do consumo energético (demo).

