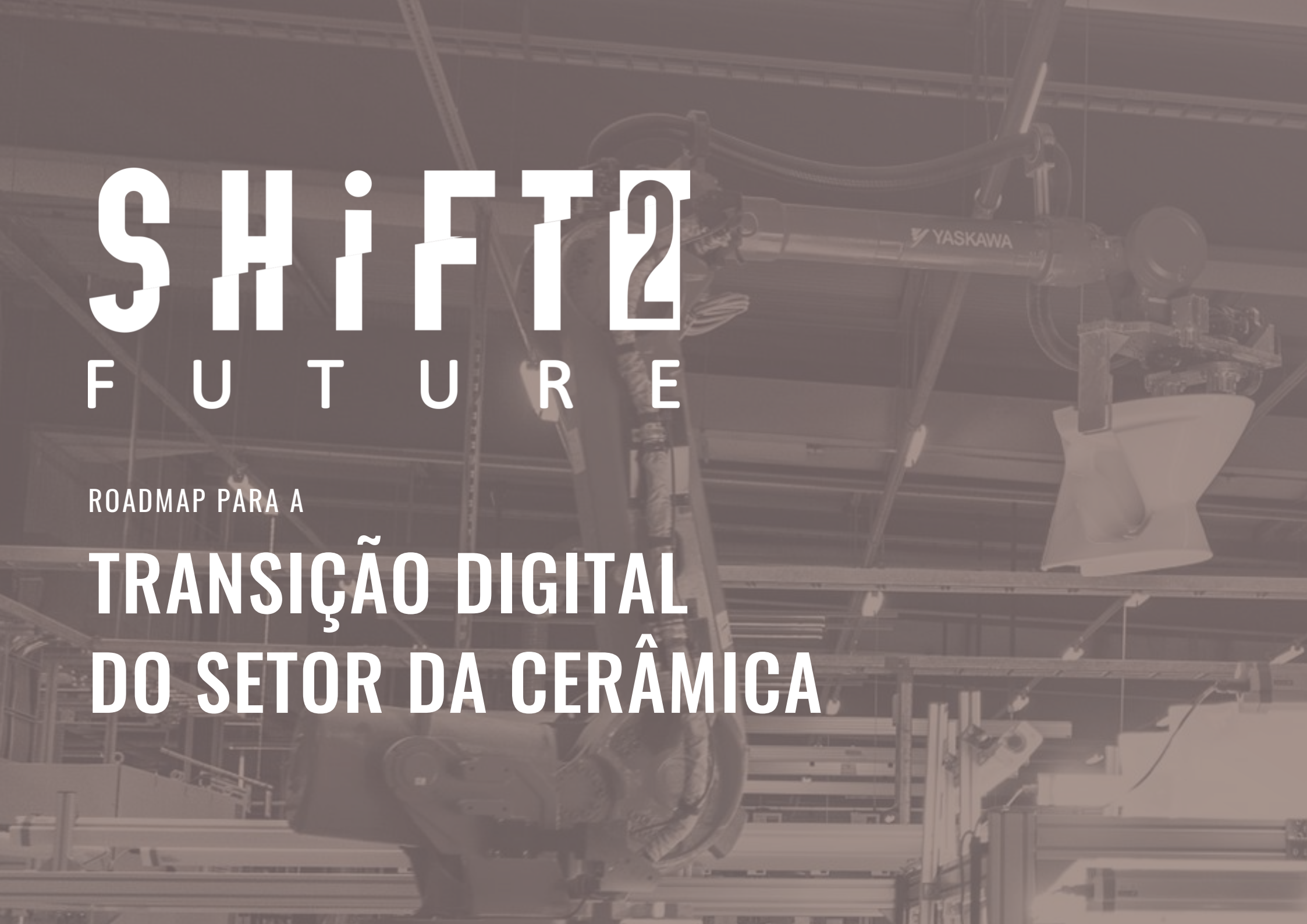


The background of the image is a grayscale photograph of an industrial setting. A large robotic arm, with the brand name 'YASKAWA' visible on its upper section, is positioned in the upper right. The arm is holding a large, white, conical ceramic object. The background shows various industrial structures, including beams and other machinery, creating a complex, layered look. The overall tone is professional and technological.

SHIFT2

FUTURE

ROADMAP PARA A

TRANSIÇÃO DIGITAL DO SETOR DA CERÂMICA

CONTEÚDOS

1. O Setor da Cerâmica	2
2. Produção de Produtos Cerâmicos	8
3. Grau de Maturidade Digital do Setor da Cerâmica	15
4. Roadmap para o setor da Cerâmica	18
4.1. Diagnóstico	21
4.2. Visão da Estratégia de Digitalização	22
4.3. Plano de Ação e Equipa	24
4.4. Execução	26
4.5. Avaliação	27
5. Conclusões	29
6. Referências	30

SHIFT 2

1. O SETOR DA CERÂMICA

O setor cerâmico em Portugal apresenta um perfil bastante diversificado que vai do mais tradicional ao contemporâneo, do técnico ao artístico, da produção manual à produção automatizada, havendo inclusive algumas empresas que têm trilhado alguns dos caminhos da indústria 4.0.

É uma indústria importante, com uma longa tradição na produção de cerâmica, encontrando-se subdividida em cinco subsectores, designadamente: Cerâmica Estrutural; Pavimentos e Revestimentos; Louça Sanitária; Cerâmica Utilitária e Decorativa e Cerâmica Técnica, onde se inclui a Cerâmica Refratária.

O setor cerâmico em Portugal assume uma forte presença nas regiões do norte e centro do país, sendo constituído por uma mistura de empresas familiares e multinacionais, com uma grande variedade de produtos e tecnologias.

A cerâmica portuguesa é reconhecida pela sua qualidade e design diferenciado, com muitas empresas a operar internacionalmente e a exportar os seus produtos para todo o mundo.

Nos últimos anos, a indústria cerâmica portuguesa tem enfrentado vários desafios, incluindo a concorrência global, a volatilidade dos mercados, as flutuações dos preços das matérias-primas e da energia da qual é fortemente dependente. No entanto, a indústria tem respondido com investimentos em tecnologia e inovação, bem como na melhoria da eficiência e sustentabilidade dos seus processos.

Este setor é um importante empregador, embora se tenha vindo a verificar uma forte diminuição da mão de obra, resultante do uso crescente de tecnologia nos processos. Desempenha também um papel importante na economia do país, contribuindo significativamente para as exportações portuguesas, representando os setores da cerâmica e vidro, cerca de 1,4% do Produto Interno Bruto (PIB) do país.

Em termos de atividade, a indústria cerâmica está integrada na “Fabricação de outros produtos minerais não metálicos” das Indústrias Transformadoras, englobando as seguintes atividades económicas:





Fabricação de Produtos Cerâmicos Refratários (CAE 232)

Os produtos cerâmicos refratários são materiais utilizados em aplicações de altas temperaturas, em ambientes hostis, nomeadamente em revestimentos de fornos e outros equipamentos usados em processos industriais com exigências térmicas elevadas.

Esses produtos cerâmicos são caracterizados por terem uma elevada resistência térmica, mecânica e química, mantendo a sua estabilidade dimensional em serviço.

Na produção de cerâmicos refratários, dependendo do tipo de produto e aplicação, poderão ser utilizadas como matérias-primas argilas refratárias, caulinos, bauxites, feldspatos, sílica, alumina, zircónia, carboneto de silício, entre outras.

Em Portugal, este subsetor industrial produz uma gama alargada de produtos refratários, nomeadamente tijolos, blocos, placas, peças personalizadas, assim como betões e argamassas refratárias, fibras cerâmicas e ainda outros cerâmicos avançados.

São amplamente utilizados em indústrias como siderurgia, cimento, petroquímica, vidro e cerâmica, entre outras, onde são essenciais para garantir a eficiência e a segurança dos processos produtivos.

As empresas deste subsetor têm vindo a investir em equipamentos modernos, sistemas de automação e tecnologia de produção para melhorar a eficiência, reduzir os custos de produção e aumentar a qualidade dos produtos. Têm apostado na I&D de novos materiais e processos para melhorar as características dos materiais, bem como para manter a competitividade no mercado global e dar resposta às expectativas dos clientes em termos de qualidade e desempenho dos seus produtos.

Fabricação de Produtos Cerâmicos para a Construção (CAE 233)

A fabricação de produtos cerâmicos para a construção inclui dois subsetores:

- Cerâmica Estrutural;
- Pavimentos e Revestimentos.

O subsetor da **Cerâmica Estrutural** inclui as empresas que produzem tijolos, abobadilhas e telhas para a construção civil. Influenciadas pelos custos de transporte de matérias-primas e do produto, as empresas utilizam essencialmente matérias-primas nacionais. Têm, normalmente, uma implantação de cariz regional, predominantemente concentrada nas regiões do norte e centro do país.

As empresas orientadas para produtos mais tradicionais têm vindo a ser dominadas por grandes firmas multinacionais, onde se verifica um investimento em processos fortemente automatizados de modo a ganharem alguma economia de escala. Outras empresas têm vindo a orientar-se mais para a inovação e a produção de novos produtos ou de produtos mais personalizados.

O subsetor de **Pavimentos e Revestimento Cerâmicos** inclui uma ampla gama de produtos com características técnicas e estéticas diversificadas, procurando dar resposta às necessidades e restrições dos diferentes mercados. Envolve a produção de materiais com diferentes formatos, tais como azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas cerâmicas. Podemos ainda ter

produtos com diferentes características técnicas, nomeadamente materiais porosos, de faiança, para revestimento ou produtos mais densificados como os materiais gresificados e ou porcelanatos com elevada resistência e durabilidade para aplicação como pavimento.

Os pavimentos e revestimentos cerâmicos produzidos em Portugal são amplamente utilizados em residências, escritórios, espaços comerciais e públicos, devido à sua durabilidade, facilidade de manutenção e elevada qualidade e diversidade estética, os que os torna também bastante reconhecidos internacionalmente.

As empresas portuguesas têm investido fortemente em tecnologia avançada, nomeadamente em processos de fabricação automatizados e na evolução para processos de decoração digital, resultando em produtos de alta qualidade, com designs inovadores e uma ampla variedade de opções de cores, texturas e tamanhos. Diferenciam-se pela sua capacidade de inovação, práticas sustentáveis, assim como pela diversidade de oferta de produto, tornando-se uma parte essencial do setor de construção e design de interiores, conseguindo dar respostas personalizadas aos seus clientes.





Fabricação de outros Produtos de Porcelana e Cerâmicos não Refratários (CAE 234)

Na fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refratários (CAE 234), enquadram-se diferentes subsetores cerâmicos com contextos bastante distintos, nomeadamente:

- Produção de Louça Utilitária e Decorativa;
- Produção de Louça Sanitária;
- Produção de isoladores e cerâmicos técnicos.

O subsetor da **produção de louça utilitária e decorativa** engloba empresas diversificadas, de produção artesanal e de produção industrial, e inclui uma gama alargada de produtos, nomeadamente os utilitários para uso doméstico e em hotelaria e os decorativos. Estes produtos, quer utilitários, quer decorativos, podem ser em faiança, grés ou porcelana.

A louça utilitária e decorativa portuguesa é reconhecida pela sua qualidade, diversidade e componente cultural, facto que a posiciona em segundo lugar no ranking mundial de produção de louça utilitária e decorativa.

Na sua componente artística e artesanal, evidencia a forte tradição cerâmica como uma forma de expressão artística, que reflete o nosso património cultural, com toda a sua riqueza e especificidades culturais e regionais. Assenta numa grande diversidade de estilos e técnicas que refletem a criatividade e a diversidade da produção cerâmica em Portugal, facto que atrai turistas de todo o mundo.

A nível industrial, a qualidade e a inovação nos processos e produtos têm sido estratégicas para a competitividade e crescimento contínuo deste subsetor.

Muitas empresas industriais investiram em novas tecnologias de conformação (vias líquida, plástica e seca), secagem, vidragem e cozedura, promovendo a automação e robotização de alguns processos para melhorar a qualidade e a produtividade. Têm também investido em tecnologias mais eficientes em termos de energia e na gestão de recursos, reforçando a sustentabilidade e circularidade.

Ao nível da inovação do produto, o design apoiado nas tecnologias digitalização e a impressão digital têm desempenhado um papel fundamental no reforço da resposta aos clientes, permitindo a criação de protótipos e peças personalizadas de forma mais eficiente.

Ou seja, as empresas industriais deste subsetor têm acompanhado as evoluções tecnológicas e incorporado avanços significativos nos processos de produção, design e qualidade, o que as tem posicionado em termos tecnológicos ao nível do estado da arte.

O subsetor da **produção de louça sanitária** caracteriza-se por ser constituído por um reduzido número de grandes empresas, maioritariamente multinacionais. Está diretamente ligado ao setor da construção e abrange a gama completa de produtos cerâmicos utilizados em diferentes

espaços sanitários, para diferentes funcionalidades e diversos contextos multiculturais.

A louça sanitária cerâmica portuguesa é reconhecida pela sua qualidade, design e pela durabilidade dos seus produtos. Procuram a diversificação pelo design ajustando a estética à funcionalidade dos seus produtos o que lhes confere uma presença internacional significativa.

As empresas têm vindo a investir em tecnologia avançada e na automatização dos processos nomeadamente de conformação e vidragem das peças, recorrendo a sistemas robotizados.

Têm grande preocupações com os seus impactos, promovendo a sustentabilidade e a circularidade dos processos, assim como o reforço da sua eficiência energética, com a utilização de tecnologias mais eficientes e a redução do consumo de energia durante o processo de produção.

O subsetor de **produção de cerâmicos técnicos** em Portugal engloba uma grande diversidade de produtos cerâmicos, com propriedades especiais destinados a aplicações técnicas e industriais de elevada exigência.

Nesta tipologia de produtos destacam-se os:

- Componentes elétricos, incluindo os isoladores cerâmicos e componentes para a indústria da eletrónica;
- Cerâmicos avançados para Biomateriais;
- Cerâmicos para aplicações de corte (Carboneto de Tungsténio);
- Abrasivos de base cerâmica;

- Cerâmicos para filtros de gases e líquidos.

A generalidade das empresas deste subsetor investe significativamente em inovação e desenvolvimento (I&DI) para disporem de cerâmicos técnicos inovadores, com alta qualidade e desempenho. Colaboram regularmente com universidades e centros de investigação para promoverem a inovação e dar resposta às necessidades específicas dos clientes.

Segundo as últimas estatísticas industriais disponibilizadas pelo INE (www.ine.pt), a Indústria Transformadora portuguesa englobava, em 2020, 67.821 empresas, das quais 1.181 faziam parte do setor da cerâmica. Estas eram responsáveis pela criação de 18.304 empregos, maioritariamente concentrados na região centro (43%) e na região norte (29%), tendo uma média de cerca de 16 trabalhadores por empresa. Foi alcançado um volume de negócios de 1,1 mil milhões de euros.

Em 2014, 70% da produção nacional estava concentrada nos subsectores do pavimento e revestimento e da cerâmica utilitária e decorativa (PWC, 2016), valor que cresceu 11 pontos percentuais em 2019 (MEESI, 2019). Simultaneamente, o subsetor da louça sanitária tem também evidenciado uma tendência de crescimento no volume de produção nacional, ao atingir 261 milhões de euros em 2019 (MEESI, 2019).

Já as estatísticas do comércio externo de 2020 demonstram que o setor exportou bens correspondentes a 661 milhões de euros, enquanto importou bens na ordem dos 196 milhões de euros (IAPMEI, 2022).

Os principais desafios atuais a serem ultrapassados por este setor são a dependência de matérias-primas provenientes de países não europeus, os produtos de baixo custo apresentados por players de economias emergentes, as barreiras comerciais, o aumento dos preços da energia, a falta de mão-de-obra qualificada e com formação superior, bem como as mudanças nos estilos de vida que implicam a substituição de produtos da cerâmica estrutural (telhas, tijolos e pavimentos), privilegiando novos materiais em madeira e cortiça para a construção civil (IAPMEI, 2022).

De facto, apesar de o território nacional dispor de condições naturais ideais para a produção de cerâmica, como o acesso a matéria-prima de elevada qualidade e variedade, esta indústria está dependente da oscilação dos preços das fontes de energia. Segundo a PWC (2016), a competitividade desta indústria melhoraria substancialmente caso tivesse existido um investimento em gás natural, por exemplo com uma aposta no gasoduto iniciado em 1993, por via de ligação com Espanha, ou no Terminal de GNL de Sines nos anos 2000.

Num momento em que são estabelecidas sucessivas metas para a descarbonização da indústria até 2050, a contribuição da indústria cerâmica requer uma abordagem que considere o ciclo de vida completo do produto, e não apenas as emissões de GEE (Gases de Efeito de Estufa) associados ao processo de fabrico. Esta mudança de paradigma implica que as inovações tecnológicas sejam utilizadas para promover o crescimento económico sustentável, neutro em carbono

Segundo as últimas estatísticas industriais disponibilizadas pelo INE (www.ine.pt), a Indústria Transformadora portuguesa englobava, em 2020, 67.821 empresas, das quais 1.181 faziam parte do setor da cerâmica. Estas eram responsáveis pela criação de 18.304 empregos, maioritariamente concentrados na região centro (43%) e na região norte (29%), tendo uma média de cerca de 16 trabalhadores por empresa. Foi alcançado um volume de negócios de 1,1 mil milhões de euros.

Em 2014, 70% da produção nacional estava concentrada nos subsectores do pavimento e revestimento e da cerâmica utilitária e decorativa (PWC, 2016), valor que cresceu 11 pontos percentuais em 2019 (MEESI, 2019). Simultaneamente, o subsector da louça sanitária tem também evidenciado uma tendência de crescimento no volume de produção nacional, ao atingir 261 milhões de euros em 2019 (MEESI, 2019).

Já as estatísticas do comércio externo de 2020 demonstram que o setor exportou bens correspondentes a 661 milhões de euros, enquanto importou bens na ordem dos 196 milhões de euros (IAPMEI, 2022).

Os principais desafios atuais a serem ultrapassados por este setor são a dependência de matérias-primas provenientes de países não europeus, os produtos de baixo custo apresentados por players de economias emergentes, as barreiras comerciais, o aumento dos preços da energia, a falta de mão-de-obra qualificada e com formação superior, bem como as mudanças nos estilos de vida que implicam a substituição de produtos da cerâmica estrutural (telhas, tijolos e pavimentos), privilegiando novos

materiais em madeira e cortiça para a construção civil (IAPMEI, 2022).

De facto, apesar de o território nacional dispor de condições naturais ideais para a produção de cerâmica, como o acesso a matéria-prima de elevada qualidade e variedade, esta indústria está dependente da oscilação dos preços das fontes de energia. Segundo a PWC (2016), a competitividade desta indústria melhoraria substancialmente caso tivesse existido um investimento em gás natural, por exemplo com uma aposta no gasoduto iniciado em 1993, por via de ligação com Espanha, ou no Terminal de GNL de Sines nos anos 2000.

Num momento em que são estabelecidas sucessivas metas para a descarbonização da indústria até 2050, a contribuição da indústria cerâmica requer uma abordagem que considere o ciclo de vida completo do produto, e não apenas as emissões de GEE (Gases de Efeito de Estufa) associados ao processo de fabrico. Esta mudança de paradigma implica que as inovações tecnológicas sejam utilizadas para promover o crescimento económico sustentável, neutro em carbono.



2. PRODUÇÃO DE PRODUTOS CERÂMICOS

O termo “cerâmicos” é frequentemente utilizado para fazer referência a materiais inorgânicos não metálicos, que são produzidos a altas temperaturas de forma a obter um material sólido, com elevada resistência mecânica e química. São compostos a partir de argilas, feldspatos, areia e outros materiais naturais, ou sintéticos, e de seguida conformados e cozidos, obtendo o cerâmico.

O processo de produção inicia-se com a preparação das matérias-primas.

Nos últimos 20 anos, houve uma evolução significativa na área da preparação de matérias-primas e pastas para o setor cerâmico, tendo grande parte das empresas optado pela externalização desta fase do processo.

O aparecimento de fornecedores especializados com tecnologia de ponta e competências na área da preparação e formulação de composições cerâmicas, levou a que houvesse uma tendência para a externalização dos processos de preparação de matérias-primas e composições, concentrando-se as empresas cerâmicas nas restantes atividades-produtivas.

A concentração e especialização destes processos, num conjunto de empresas fornecedoras dedicadas especificamente a esta atividade, potenciou um aumento de investimento e uma evolução significativa nos processos de preparação e controlo das matérias-primas e composições para o setor cerâmico, com a adoção de tecnologias avançadas processamento e mudanças nas práticas de produção de modo a dar resposta às necessidades crescentes e diferenciadas dos vários setores. A externalização destes processos contribuiu, ainda, para uma gestão mais eficiente dos recursos minerais, sendo obtidos de forma mais eficiente e sustentável e havendo acesso a fontes alternativas de matérias-primas eventualmente mais sustentáveis ou de melhor qualidade. Por outro lado, a evolução nas tecnologias de processamento nesta área e a cooperação entre empresas e fornecedores potenciaram a adoção de processos de reciclagem avançados, permitindo que os resíduos gerados durante a produção de cerâmica fossem reciclados e reintroduzidos nas composições, o que reduz a quantidade de matéria-prima extraída da natureza.

Independentemente desta estratégia de externalização e da tipologia de produtos cerâmicos, é com a preparação de composições que se dá início a qualquer processo cerâmicos.

As matérias-primas plásticas, nomeadamente as argilas, os caulinos e outros materiais argilosos, os materiais inertes, como a areia ou quartzo, e os fundentes, como os feldspatos ou ainda os carbonatos, são na sua maioria obtidas em concessões de exploração nacionais. O seu transporte, das zonas de extração ou armazenamento, é assegurado essencialmente por camião. No caso de ser necessário recorrer a matérias-primas importadas, nomeadamente de países fora do espaço europeu, normalmente chegam a Portugal por via marítima.

As primeiras fases do processo envolvem a extração cuidada e separação criteriosa das matérias-primas de acordo com as suas características e especificidades. No caso das matérias-primas argilosas, para se potenciarem as suas características, normalmente são armazenadas durante um período em montes ao ar livre, para envelhecimento. As suas características são controladas e, muitas vezes, efetuam-se ajustes ou misturas com outros lotes de matérias-primas antes de serem introduzidas no processo.

Quando estão para entrar no processo, normalmente são armazenadas em grandes armazéns cobertos subdivididos em tulhas, onde são colocadas separadamente cada uma das matérias-primas. Poderão ainda, em alguns casos, ser logo colocadas em silos ou alimentadores de grande volume, que antecedem os sistemas de doseamento.

Os sistemas de doseamento ou mistura utilizados podem ser muito diferentes e com distintos níveis de automatização, precisão e controlo. As empresas fornecedoras de pasta possuem já meios avançados de pesagem com tremonhas pesantes ou balanças associadas aos silos e telas de alimentação de sistemas de processamento, assim como sistemas de controlo da humidade das matérias-primas bastante precisos, que permitem a obtenção duma boa homogeneidade composicional.

A preparação de composições cerâmicas pode ser realizada por via seca ou por via húmida, dependendo do tipo de produto cerâmico pretendido e dos

requisitos específicos do processo. A via seca é predominantemente utilizada na produção de materiais cerâmicos tecnicamente menos exigentes, tais como telhas, tijolos e abobadilhas, enquanto a via húmida é normalmente empregue na produção de materiais cerâmicos avançados e de maior qualidade, nomeadamente louça utilitária e decorativa. Isto é, a maioria das tipologias de pavimento e revestimento, louça sanitária e outros produtos técnicos.

No processo de preparação por via seca, as matérias-primas cerâmicas são moídas a seco ou com baixo teor de humidade e, dependendo do processo, podem ser utilizados destorroadores, laminadores, ou mesmo moinhos pendulares para moagens mais finas. O doseamento das composições normalmente é efetuado antes da moagem. Após a moagem, é efetuado um ajuste de humidade da pasta, para se obter a plasticidade adequada às condições de conformação a utilizar. Eventualmente, podem ser adicionados corantes para modificar a cor base do produto cerâmico. Normalmente, a conformação de produtos cerâmicos preparados por esta via é efetuada diretamente por extrusão, por vezes seguida de prensagem, como no caso das telhas, e, pontualmente, pode envolver a prensagem, como no caso de algumas tipologias de tijolo maciço. Eventualmente, podem ser aplicadas decorações, tipo engobes para valorização estética dos produtos e, de seguida, são todos cozidos a temperaturas que podem variar desde os 900 °C para o tijolo, até por volta dos 1100 °C para algumas tipologias de telhas e tijolos maciços.

Os processos de preparação por via húmida envolvem processos de moagem e turbo-diluição.

Normalmente, são moídos os duros (areia e feldspatos) e dispersados os argilosos (argilas e caulinos) por turbo-diluição e, no final, misturados num tanque de mistura. Em alternativa, podem ser moídos os duros conjuntamente com os argilosos, ou, ainda, podem ser moídos os duros e incorporados no turbo-diluidor juntamente com os argilosos, para promover a dispersão e mistura dos argilosos. A moagem é normalmente efetuada em moinhos de bolas, maioritariamente revestidos a alumina e com bolas de alumina, podendo ser utilizados moinhos em regime de moagem contínuo ou descontínuo. A suspensão homogeneizada, crivada e desferrizada, denominada de barbotina, é, de seguida, colocada em tanques de repouso,

com agitação, antes de ser processada para alimentar os processos de conformação.

A **conformação** dos materiais cerâmicos pode ser efetuada, respetivamente, por via húmida, por via plástica, ou por via seca.

Na conformação por via húmida, a barbotina é utilizada diretamente nos processos de enchimento, manual, automático ou de alta pressão, sendo apenas necessário efetuar ajustes na densidade e viscosidade das suspensões cerâmicas. De referir que a conformação por enchimento a alta-pressão de produtos cerâmicos sanitários em moldes de resina permite uma redução entre 40 e 42% do consumo de energia.

Na conformação por via plástica, a barbotina é filtro-prensada para retirar parte da água, obtendo-se umas lastras com consistência plástica, que seguem para o processo de extrusão, com o objetivo de retirar o ar da pasta, tornando-a trabalhável e apta para conformação por prensagem plástica, *roller* ou contramoldagem.

Na conformação por via seca, a barbotina é sujeita a um processo de secagem por atomização, obtendo-se um pó com uma humidade residual ajustada ao processo em que vai ser utilizada. No caso da louça utilitária e decorativa, normalmente a via seca é utilizada na produção de peças planas por prensagem semi-isostática, enquanto nos pavimentos e revestimentos o pó é normalmente conformado por prensagem uniaxial. Uma das mais recentes inovações na produção de pavimento e revestimento cerâmico está relacionada com a produção de placas cerâmicas em contínuo, não utilizando a prensagem e os um moldes tradicionais (Contínua +) com sistemas de controlo automatizados, i4.0. O uso deste tipo de tecnologias mais eficientes e de maior produtividade garante a flexibilidade em termos de tamanho e espessura, a diminuição de resíduos e o aumento da economia circular.

Após a conformação, é necessário efetuar a secagem dos produtos para remover toda a água livre presente no corpo cerâmico, permitindo que este adquira as propriedades mecânicas adequadas para ser sujeito ao manuseamento necessário para se proceder ao acabamento e decoração do produto.

A **secagem** é um processo crítico na cerâmica porque, na generalidade, envolve variações dimensionais significativas. Este deve ser perfeitamente ajustado em termos de ciclo e temperaturas à tipologia de produtos e

processos da conformação utilizados. A temperatura e as humidades têm de ser perfeitamente controladas ao longo do ciclo de secagem, de modo a evitar a ocorrência de defeitos e se atingir um valor de humidade residual tendencialmente nulo.

No caso dos produtos de cerâmica estrutural, a secagem é realizada em secadores contínuos ou semicontínuos (túnel de carga direta, vagonetas ou tipo anjou) ou em secadores intermitentes (de câmaras estáticas). O calor necessário pode ser fornecido através da recuperação de calor dos fornos ou através do ar de arrefecimento.

Já a secagem dos produtos de louça sanitária normalmente ocorre em duas fases. Na primeira, a secagem é realizada ao ar ou em secadores adaptados, enquanto na segunda fase, as peças são sujeitas à secagem final em secadores tipo túnel, contínuos ou intermitentes.

Na louça utilitária e decorativa, existe uma grande diversidade de sistemas de secagem, que normalmente são adaptados e estão em linha com os sistemas de conformação utilizados. A secagem pode ser efetuada em várias fases e os sistemas de secagem podem ser horizontais ou verticais utilizando prateleiras de suporte.

Algumas tipologias de produtos cerâmicos, como a porcelana e a faiança, utilitária e decorativa, obrigam à cozedura do corpo cerâmico após a secagem, para a obtenção de um corpo com características, nomeadamente mecânicas, adequadas para serem sujeitas a vidragem e decoração. Normalmente, esta cozedura inicial denomina-se de cozedura da chacota, obtendo-se em ambos os casos um corpo poroso, denominado de *chacota* ou *biscuit*, com resistência mecânica e porosidade adequada para ser revestido com o vidrado e, eventualmente, ser também aplicada a decoração. Normalmente, esta cozedura da chacota é efetuada a temperaturas mais baixas entre os 950°C e os 1050°C.

Os demais produtos têm vindo a ser cada vez mais obtidos por monocozedura, ou seja, o vidrado é aplicado no corpo após secagem e é efetuada a cozedura do corpo e do vidrado em simultâneo num único ciclo de cozedura.

Os vidrados aplicados nos produtos cerâmicos são materiais que, durante a cozedura, fundem e formam uma superfície vítrea sobre a peça cerâmica. Estes conferem ao produto uma camada protetora, promovendo a sua impermeabilização, facilidade de limpeza, maior resistência ao desgaste e, em

simultâneo, contribuem para a valorização da componente estética do produto. Em termos estéticos, os vidrados podem ser transparentes, permitindo que a cor da camada ou decoração subjacente seja visível, ou opacos e semi-opacos, potenciando uma ampla gama de cores, efeitos decorativos e texturas.

Cada subsetor cerâmico pode utilizar técnicas específicas de vidragem de acordo com as características dos produtos e os efeitos desejados, sendo normalmente adaptados aos formatos e complexidade das peças produzidas, à fase de aplicação do vidrado (em cru ou em chacota) e ao nível da automatização dos processos.

Em termos genéricos, a vidragem pode ser efetuada por imersão, manual ou automática, por pulverização, em máquinas de vidragem automáticas ou em cabines de vidragem, com diferentes tipos de pulverizações. Pode ainda ser efetuada por cortina na área de pavimento e revestimento e, mais recentemente, começa também a ser utilizada a vidragem em impressoras digitais, em simultâneo com a decoração das peças.

Os processos de decoração podem assentar somente na aplicação de vidrados decorativos envolvendo a adição de padrões, desenhos e cores às peças cerâmicas. Podem ser efetuados em linha com a vidragem ou após a cozedura do vidrado, envolvendo, eventualmente, uma aplicação e processo de cozedura específico.

As técnicas mais tradicionais de decoração assentam na decoração manual efetuada a pincel, mas a atualmente a técnica predominante na louça utilitária e decorativa assenta na decoração com decalques cerâmicos. Os decalques são imagens ou desenhos impressos num filme especial, laca, com tinta cerâmica. Esses decalques são transferidos para as peças cerâmicas, pré-vidragem ou pós-vidragem e sujeitos a cozedura conjuntamente com o vidrado, ou numa cozedura específica, neste último caso a temperaturas mais baixas por volta dos 850 °C.

Considerando que a louça utilitária e decorativa produzida em Portugal ocupa uma posição de destaque a nível europeu, importa referir que a decoração do produto é uma das fases mais importantes do processo produtivo, através da qual se agrega mais valor ao produto.

No caso dos revestimentos cerâmicos, ainda se usa o processo de decoração por serigrafia em que a decoração é transferida para a peça cerâmica, por meio de uma tela de malha fina, resultando em padrões detalhados e precisos.

A decoração/impressão digital constitui-se como uma evolução tecnológica no processo de decoração cerâmica e encontra-se altamente difundida neste subsetor. Atualmente, as tecnologias de aplicação de decoração disponíveis apresentam diferentes níveis de automatização. No campo das soluções inovadoras, existem sistemas completamente automatizados e integrados numa linha de produção e são conhecidos como decoração/impressão digital.

Na tecnologia de impressão digital, a imagem que se pretende imprimir é tratada e assistida por computador, que a envia para o equipamento de impressão onde se dá a decoração da peça. Se, por um lado, as paragens na produção para mudanças de padrões são eliminadas, por outro, as pequenas produções homogêneas e a produção de peças únicas são agora mais fáceis de realizar.

A cozedura dos produtos cerâmicos constitui-se como processo chave, sendo responsável pela ocorrência de uma sequência de reações físico-químicas complexas no corpo, convertendo, de forma irreversível, o material conformado num produto compacto, com características desenhadas para o tipo de aplicações pretendidas.

Os processos de cozedura dos produtos cerâmicos podem variar dependendo do tipo de produto e do resultado desejado. Os ciclos de cozedura podem variar em termos de duração e curva de aquecimento / arrefecimento, dependendo das características do produto.

As temperaturas máximas de cozedura também podem variar de acordo com o tipo de produto. Por exemplo, na louça utilitária e decorativa, a faiança é geralmente cozida em duas fases a cozedura da chacota e a de vidrado, sendo efetuadas entre os 1000°C e os 1100°C. Já a porcelana requer temperaturas mais elevadas, sendo também cozida no mínimo em duas fases. Normalmente a chacota por volta dos 980°C e a cozedura tradicional do vidrado por volta dos 1380°C. Essas temperaturas são ajustadas para garantir a adequada sinterização dos produtos cerâmico. No caso dos produtos de grés, recorre-se normalmente à monocozedura, sendo efetuada a vidragem do produto em cru e cozida corpo e o vidrado cerâmico num ciclo único, normalmente a temperaturas entre os 1150°C e os 1250 °C.

No subsetor de pavimentos e revestimentos também se recorre essencialmente a processos de monocozedura, dependendo a temperatura máxima de cozedura do tipo de produto, no caso do revestimento por volta dos 1060 °C, o grés entre os 1120 °C e o 1180 °C e o porcelanato entre os 1200°C e os 1250 °C.

As propriedades pelas quais os produtos cerâmicos são bem conhecidos são a elevada resistência ao calor, fogo e desgaste em geral, bem como uma longa vida útil, inércia química, não toxicidade e, nalguns casos, a sua porosidade específica.

No âmbito da modernização da indústria cerâmica, existem vários desafios ao nível da automação dos processos de produção, nomeadamente no manuseamento de peças a cru, na vidragem, na inspeção de peças, entre outros (Mendes, 2023).

A utilização de simuladores 3D na produção e decoração de revestimentos e pavimentos cerâmicos, para estruturar, em tempo real, projetos no ambiente industrial e de robôs, para automatizar as linhas de montagem, permitem modificar componentes sem custos associados, eliminar o transporte manual de materiais pesados, diminuir não-conformidades, e aumentar o desempenho global das empresas (Mendes, 2023).

Conforme se procura demonstrar nas Figuras 1 e 2, o processo de produção de produtos cerâmicos é, independentemente dos setores que integram, composto por cinco etapas (MEESI, 2019; Vieira et al., 2011): preparação de composições; conformação; secagem; tratamento da superfície / vidragem e cozedura.

A montante deste processo de produção tem existido um forte investimento em inovação de produto e o recurso a técnicas de modelação CAD, 3D e de produção aditiva para o desenvolvimento de novas referências e produção de protótipo para se avaliar a sua recetividade no mercado, exequibilidade, requisitos de produção, etc.



Figura 1: Principais etapas do processo de fabricação de produtos cerâmicos. Fonte: MEESI (2019).



Figura 2: Processo de fabrico de produtos cerâmicos.

Note-se que a utilização de novas tecnologias na Indústria Cerâmica procura também reduzir o impacto energético associado à secagem. Esta operação pode representar cerca de 30% do consumo energético global de uma empresa. Neste âmbito, destaca-se:

- **Recuperação de calor do gás de saída do secador contínuo para pré-aquecer o ar de combustão do atomizador:** esta medida consiste em recuperar o calor dos gases de combustão extraídos dos secadores contínuos do tipo túnel.
- **Tecnologias de secagem rápida emergentes:** no método de fluxo de ar quente intermitente, a introdução de fluxos transversais e localizados de ar quente seco no túnel permite utilizar temperaturas do ar de secagem mais elevadas do que no processo contínuo e, consequentemente, reduzir o tempo necessário. Na secagem com micro-ondas, apenas o objeto a ser seco é aquecido, permitindo que a câmara permaneça fria, o que envolve menos custos energéticos. As micro-ondas secam a louça do interior para o exterior.
- **Sistemas de secagem por infravermelhos usando um amplo espectro de radiação infravermelha:** a radiação infravermelha aquece uma camada superficial da peça que depois acumula a energia necessária para a evaporação através da condução do calor do exterior para o interior.

O processo de cozedura permite que os produtos cerâmicos atinjam as propriedades específicas, aumentando a resistência mecânica, a estabilidade dimensional, bem como a resistência à água e a outros produtos. Dependendo das especificações de cada produto, é utilizado um determinado tipo de forno.

As temperaturas de cozedura podem variar entre os 850 e 1400°C e algumas empresas dispõem ainda de um pré-forno, para efetuar uma secagem final (remoção de água residual) e aquecimento dos produtos para preparação da cozedura. Em produtos de revestimento ou louça de faiança e porcelana, é habitual aplicar vários processos de cozedura.

Como após a cozedura o produto final precisa de ser ajustado a especificações e normas, são desencadeadas operações de retificação. Existem algumas medidas e tecnologias que podem ser aplicadas no forno de cozedura para melhorar a sua eficiência energética (entre 10% e 15%):

- Melhorar a estanquidade/isolamento térmico dos fornos;
- Melhorar os revestimentos refratários dos fornos e das plataformas dos fornos de vagonas para reduzir os tempos de arrefecimento e, consequentemente, as perdas de calor associadas;
- Controlar informaticamente os regimes de cozedura no forno;
- Alterar matéria-prima e design de produtos por outros materiais que consomem menos energia durante o processamento e a otimização das formas dos produtos.



3. GRAU DE MATURIDADE DIGITAL DO SETOR DA CERÂMICA

Ao nível da digitalização, e segundo os diagnósticos presentes na Plataforma Shift2Future, a Indústria Transformadora, para um N = 396, tem uma média do nível de maturidade digital de 1,25 numa escala de 1 a 5.

Apesar de não ser possível extrapolar os resultados para o universo que compõe o setor, uma análise detalhada aos diagnósticos realizados para empresas da cerâmica permite identificar um nível médio de maturidade de 0,79 (N = 35).

Em termos gerais, as empresas da indústria cerâmica são consideradas altamente dinâmicas e competitivas. Para esse efeito, os avanços tecnológicos focam-se principalmente em processos e produtos, procurando a redução do consumo de energia e do impacto ambiental, o aumento da flexibilidade e a redução do ciclo produtivo.

Identificado como um setor ágil que caminha continuamente para produtos de alta técnica e estética, excelência em qualidade, eficiência e otimização de processos (Molina-Morales et al., 2017), a verdade é que não existem estudos publicados que permitam caracterizar a maturidade digital ampla do setor.

O estudo de Kellner et al. (2020) mapeou os vários modelos-piloto que foram criados para ajudar as empresas da indústria a implementar os elementos constituintes da Indústria 4.0, identificando que alguns eram demasiado gerais e outros isolados:

- Sistema de Execução de Fabrico Móvel (MMES): criação de um MES (Manufacturing Execution System) baseado em nuvem para dispositivos móveis, que disponibiliza os dados em tempo real não só para o próprio negócio, mas também para fornecedores e clientes.
- Sistema de Gestão de Informação de Laboratório em Nuvem (CLIMS): criação de um armazenamento em nuvem para manter a informação digitalmente e facilitar a consulta de informação laboratorial de testes, em função de normas exigidas e de requisitos dos clientes.
- Digitalização do molde: armazenamento do maior número de dados dos moldes (formas, etc.), para reutilização e alteração posterior, no âmbito da utilização de tecnologias de produção digital, como a modelação 3D e o fabrico aditivo.

- Digitalização de cerâmicas: capacitação de produtos cerâmicos tradicionais, como os azulejos, com sensores, no âmbito da digitalização do habitat, com sistemas solares para produção de energia elétrica fotovoltaica.
- Sistema de monitorização: implementação de Códigos QR em produtos finais para obter informações precisas sobre o processo de fabrico do produto (método de fabrico, controlo de qualidade, número de lote, etc.).

Analisando-se os diagnósticos realizados para empresas da indústria cerâmica através da Plataforma Shift2Future (N = 35), observa-se que

Estratégia e Organização

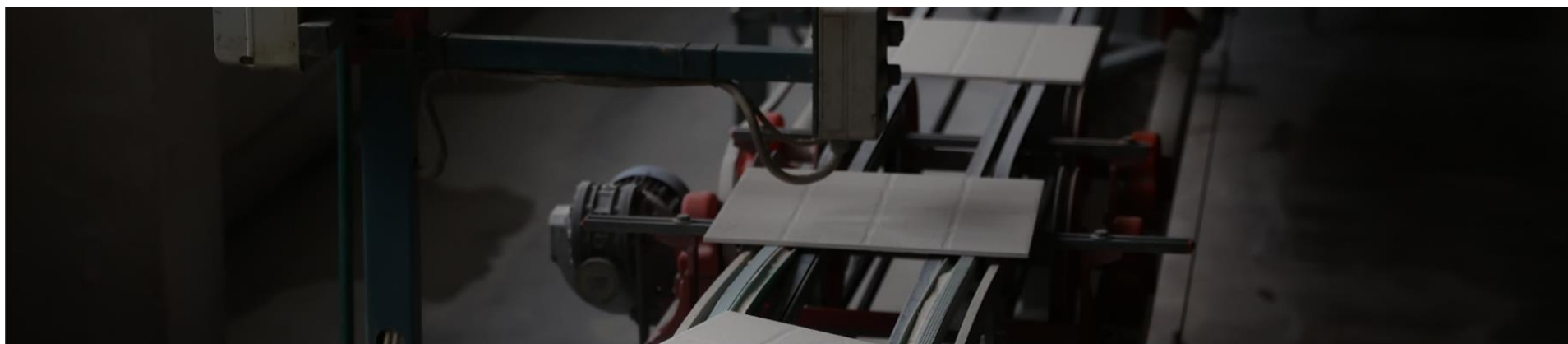
- A maioria das empresas não planejaram estratégias para a digitalização através de roteiros de ação, levando a cabo pequenas iniciativas de implementação isolada de tecnologias I4.0.
- Quando existem sistemas de gestão da tecnologia e inovação, verifica-se que não têm transversalidade a todos os departamentos.
- Existe uma evidente necessidade de se definir estratégias sistematizadas para a digitalização recorrendo a roteiros tecnológicos e envolvendo os colaboradores de forma ativa desde o início dos projetos.
- Existe um claro potencial de melhoria dos processos para uma visão global das organizações por meio da implementação de sistemas de gestão da tecnologia e inovação por áreas-chave.

Infraestrutura Inteligente

- Grande parte das empresas conta com um reduzido alinhamento entre os sistemas de informação e os processos de negócio, uma vez que frequentemente não existe uma recolha de dados dos equipamentos e processos durante a produção, apesar de muitos dos equipamentos apresentarem capacidade de integração de comunicações M2M ou interoperabilidade.
- Algumas empresas possuem um estágio inicial de modelação digital, com a recolha, manual ou digital, de dados dos equipamentos e processos durante a produção.
- Algumas áreas são suportadas por sistemas TI e estão integradas.
- Constata-se um potencial de melhoria em termos de cibersegurança.

Operações Inteligentes

- A maioria das empresas ainda se encontra numa fase de preparação dos sistemas de produção para a recolha de dados em tempo real.
- A partilha de informação já está a ocorrer internamente em alguns departamentos das empresas.
- Existe um potencial de melhoria ao nível da automação de processos operativos (produção e logística interna).
- Há uma necessidade de resolver problemas da qualidade a partir da obtenção e tratamento de informação em tempo real.
- A maioria das empresas utiliza serviços na nuvem para armazenar os seus dados.
- Em nenhuma empresa os produtos são capazes de se orientar autonomamente pela produção, sendo que os processos não reagem autonomamente a mudanças.



Produtos Inteligentes

- Ausência de produtos que utilizem mais do que uma funcionalidade TIC, tais como memória, autoinformação, integração, localização, serviço de apoio, monitorização ou identificação automática.
- As empresas não recolhem dados sobre a utilização dos produtos.

Serviços Baseados em Dados

- Poucas empresas oferecem serviços baseados em dados.
- As empresas começam a ajustar timidamente o seu modelo de negócios para promoverem serviços auxiliares aos produtos principais.
- Existe um potencial para o desenvolvimento de infraestruturas de desenvolvimento de serviços adicionais, resultando em produtos inteligentes, por meio de dados recolhidos diretamente dos produtos e serviços.

Recursos Humanos

- Existe pouca mão-de-obra qualificada e com formação em tecnologias I4.0 empregada nas empresas.
- Dificuldades por parte das empresas em disponibilizar aos colaboradores ações de formação regulares sobre o uso das tecnologias I4.0.



4. ROADMAP PARA O SETOR DA CERÂMICA

Tendo em conta o nível “iniciado” de maturidade digital em que se encontra o setor da Cerâmica, que compreende a preparação das matérias-primas, conformação, secagem, tratamento da superfície, cozedura, outros processos de fabrico secundários e tecnologias de produção, apresenta-se um Roadmap que visa oferecer às empresas um guião para a sua transformação digital. Pretende-se que este instrumento auxilie o setor a aumentar o seu nível de maturidade de digital, tendo como base a escala proposta pelo modelo Shift2Future ilustrado na Figura 3.

O Roadmap é composto por cinco etapas, designadamente pelo diagnóstico, visão da estratégia de digitalização, plano de ação e equipa, execução e avaliação.

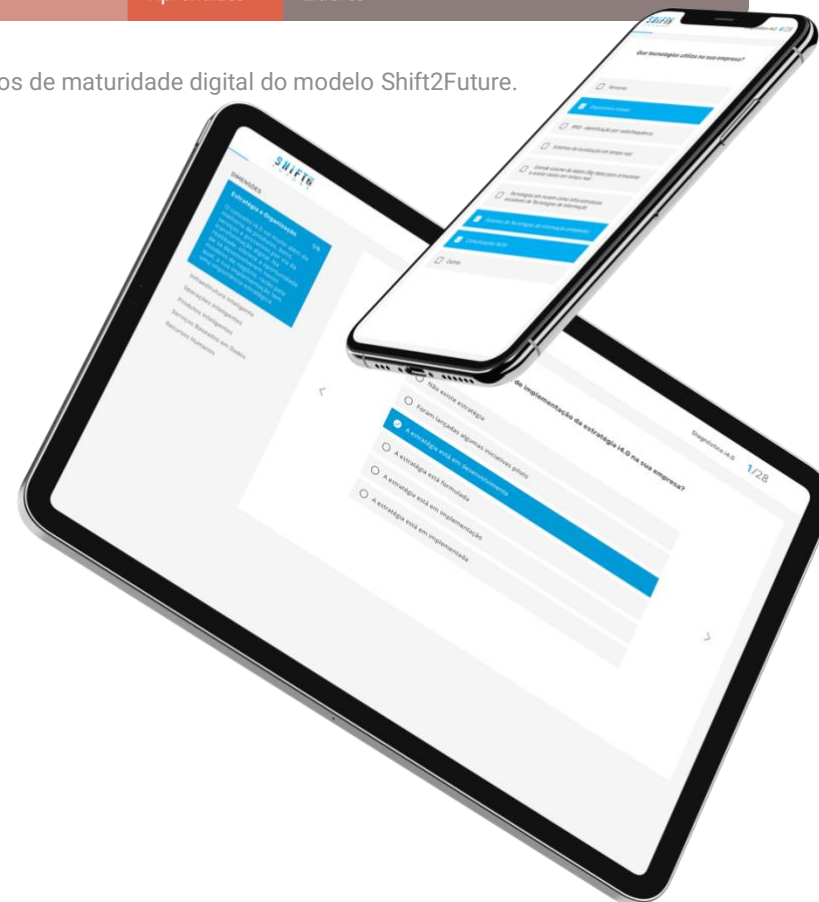
Em cada etapa, investigam-se, definem-se, planeiam-se, executam-se e avaliam-se as seis dimensões propostas pelo modelo de maturidade digital Shift2Future: estratégia e organização; infraestrutura inteligente; operações inteligentes; produtos inteligentes; serviços baseados em dados; recursos humanos.

A estas dimensões propostas pelo diagnóstico Shift2Future, acrescenta-se uma componente transversal de **“Gestão do Conhecimento”** com o intuito de se avaliar:

- A utilização de sistema colaborativos ou sharepoints para a disseminação da informação e partilha do conhecimento.
- Estratégias de documentação dos projetos, iniciativas e atividades de inovação ou melhoria contínua e registo de boas práticas e lições aprendidas.



Figura 3: Estados de maturidade digital do modelo Shift2Future.



ROADMAP PARA O SETOR DA CERÂMICA





Estratégia e Organização e Organização



Infraestrutura Inteligente



Operações Inteligentes



Produtos Inteligentes



Serviços Baseados em Dados



Recursos Humanos



Gestão do Conhecimento

1 Diagnóstico	2 Visão da Estratégia de Digitalização	3 Plano de Ação e Equipa	4 Execução	5 Conclusão
AVALIAR: - Estratégias em curso, principais desafios e constrangimentos. - Nível de comprometimento da gestão de topo. - Modelo orgânico e respetivos fluxos de responsabilidades. - Investimentos realizados e em curso no âmbito da transição e capacitação digital. - Indicadores de avaliação do desempenho da organização.	DEFINIR: - Visão esquemática da estratégia de digitalização em toda a cadeia de valor da empresa, destacando o que é e não é âmbito da transição digital. - Sistemas de informação que estão previstos para cada operação ou um conjunto de áreas.	- Elaborar memória descritiva do projeto de digitalização. - Avaliar os investimentos e as incertezas científicas envolvidas. - Identificar fontes de financiamento. - Reunir os meios financeiros e técnicos.	- Organizar o kick off formal do projeto na organização para assegurar o envolvimento de todos. - Realizar reuniões periódicas sobre o estado de execução dos trabalhos. - Controlar os custos associados e comparar cenários. - Elaborar e submeter candidaturas a sistemas de incentivo disponíveis.	- Realizar um workshop de avaliação de resultados. - Analisar com regularidade os KPIs da organização para avaliar o impacto da digitalização.
AVALIAR: - Infraestrutura tecnológica atual de suporte à gestão das operações e à segurança da informação. - Grau de atualização tecnológica da infraestrutura. - Modelos de recolha, armazenamento e análise de dados.	DEFINIR: - Arquitetura da infraestrutura tecnológica que deve ser implementada para suportar a estratégia de digitalização, incluindo: - Modelos de Hosting de aplicações (On-Premises versus Cloud); - Modelos de licenciamento (SaaS e Vitalício); - APIs de integração; - Rede industrial e de sensores e respetivos protocolos de comunicação; - Grau de resiliência e de disponibilidade da rede de dados; - Mecanismos de cibersegurança e disaster recovery; - Gestão de acessos e permissões; - Arquitetura de identificação e proteção de dados pessoais para assegurar o cumprimento dos requisitos do RGPD.	- Selecionar fornecedores para a implementação da infraestrutura tecnológica necessária para estratégia de digitalização. - Elaborar templates para a documentação das especificações técnicas das tecnologias. - Mapear a rede de dados da infraestrutura física e identificar os pontos a reforçar. - Criar condições para a implantação da nova infraestrutura tecnológica. - Planear auditorias de segurança à nova infraestrutura tecnológica.	- Implementar a infraestrutura tecnológica em função do especificado. - Instalar sensores de IoT e outros sistemas para assegurar a aquisição de dados de máquinas e equipamentos. - Implantar a rede de dados industrial. - Reunir junto dos fornecedores de tecnologia a respetiva documentação técnica. - Realizar auditorias de segurança.	Analisar com regularidade os KPIs sobre a resiliência e a segurança da infraestrutura.
AVALIAR: - Operações que integram a cadeia de valor: preparação das matérias-primas; conformação; secagem; tratamento da superfície e cozedura. - Automatização de operações de produção, transporte e manipulação de produtos. - Nível de sensorização de máquinas e equipamentos e capacidade para o seu controlo e monitorização remotos. - Nível de digitalização das operações. - Sistemas de inspeção visual automática de defeitos no produto. - Sistemas de informação que suportam cada uma das operações (CRM, ERP, WMS, MES, Controlo da Qualidade, BI). - Níveis de integração e de rastreabilidade da informação. - Medição, monitorização e controlo dos consumos energéticos e da emissão de GEEde acordo com as regras do CELE (Comércio Europeu de Licenças de Emissão). - Substituição de fontes de calor de origem fóssil (PET COKE, Gás Natural) por fontes de calor renováveis ou que não contribuam para a emissão de GEE (Biomassa, Hidrogénio verde, Biogás, Energia Elétrica de fontes renováveis). - Recuperação do calor dissipado no processo produtivo.	DEFINIR: - Processos e operações âmbito da digitalização. - Processo que podem ser automatizados. - Um ERP para a gestão global da empresa. - Sistemas de informação que suportam cada uma das operações (CRM, ERP, SCADA, WMS, MES, Controlo da Qualidade, Desenho CAD, etc). - Matriz de integrações. - Mecanismos de sensorização de máquinas e equipamentos, bem como protocolos de comunicação a implementar. - Estratégias de atualização de hardware e software. - Planos de controlo, monitorização e análise das operações.	- Especificar a matriz de integrações. - Selecionar os fornecedores de automação e de cada sistema de informação que integra a estratégia de digitalização e definir, com cada um, os respetivos planos de implementação, assegurando pontos de integração. - Caracterizar os protocolos de comunicação existentes no chão de fábrica e identificar novos. - Caracterizar as variáveis críticas dos produtos e processos que devem ser medidas, controladas, monitorizadas e analisadas, em tempo real. - Mapear as operações ao detalhe e avaliar perdas. - Avaliar upgrades tecnológicos e alterações de layout que minimizem perdas. - Definir o mapa de indicadores de avaliação do desempenho das operações.	- Implementar o plano de trabalhos traçado com cada fornecedor de tecnologia, automação e sistemas de informação. - Para o setor da cerâmica poderá ser importante selecionar um CRM para a gestão comercial, um ERP para a gestão global da empresa, um sistema para o planeamento das ordens de produção, sistemas de inspeção automática de defeitos, um MES para a aquisição de dados de máquina, controlo da qualidade e de análise estatística de dados. - Assegurar a integração de dados, identificando, as variáveis mestre que são geridas por cada sistema. - Implementar estratégias de descarbonização da indústria e de minimização dos consumos energéticos.	Analisar com regularidade os KPIs da avaliação do desempenho das operações.
AVALIAR: - Recurso a tecnologias digitais para o desenvolvimento e prototipagem de novos produtos (realidade virtual, CAD 3D, etc). - Potencial de economia circular dos subprodutos e resíduos. - Nível de rastreabilidade dos produtos. - Modelos inteligentes de venda dos produtos.	DEFINIR: - Sistemas de informação necessários ao desenvolvimento de produtos. - Plataformas online, website institucional e/ou marketplaces mundiais onde o produto possa ser vendido e/ou divulgado.	- Verificar a atualização dos sistemas de informação e a sua capacidade de integração com outros sistemas. - Avaliar o potencial de mercado de novos modelos de negócio que decorrem, por exemplo, de estratégias de economia circular.	- Desenvolver produtos à base de materiais cerâmicos de forma mais inovadora, automática e com menor impacto ambiental. - Maximizar a economia circular com transformação de subprodutos e resíduos cerâmicos em novos produtos.	Analisar com regularidade o impacto da sensorização dos produtos e dos novos modelos de negócio gerados.
AVALIAR: - Estratégias de transformação dos dados em conhecimento para suportar a otimização e/ou desenvolvimento de produtos, serviços e processos. - Nível de literacia em matemática/estatística para a análise dos dados. - Sistemas de informação que suportam a análise de dados.	DEFINIR: - Tipos de dados e requisitos de RGPD. - Modelos de negócio que podem surgir com a sensorização dos produtos. - Requisitos técnicos para a sensorização dos produtos. - Estratégias para o tratamento dos dados.	- Design da estratégia de análise estatística dos KPIs da organização e que podem ser obtidos por via manual ou automática, através da integração entre sistemas. - Selecionar sistema de BI.	- Mapear as fontes de dados. - Licenciar uma plataforma de BI e integrá-la com as fontes de dados. - Desenvolver no sistema de BI os dashboards de análise estatística que permitem avaliar o desempenho das operações e da empresa.	
AVALIAR: - Nível de literacia digital das pessoas. - Ações em curso para o desenvolvimento de novas competências - Necessidades formativas.	DEFINIR: - Competências internas a desenvolver para dar resposta à transição digital. - Novas contratações (se necessário). - Parceiros tecnológicos estratégicos que constituem a equipa do projeto.	- Selecionar a equipa interna responsável pela implementação. - Selecionar os parceiros tecnológicos.	- Capacitar a equipa para a gestão das mudanças e para a utilização dos novos sistemas de informação. - Capacitar a equipa com conhecimentos no âmbito da análise global de dados e com técnicas de melhoria contínua.	Desenvolver questionários para obter feedback dos colaboradores sobre a digitalização, diagnosticar necessidades formativas e traçar ações de capacitação.
AVALIAR: - A utilização de sistema colaborativos ou sharepoints para a disseminação da informação e partilha do conhecimento. - Estratégias de documentação dos projetos, iniciativas e atividades de inovação ou melhoria contínua e registo de boas práticas e lições aprendidas.	DEFINIR: - Plataformas colaborativas para a gestão do projeto e partilha da informação. - Metodologias e templates para a descrição do projeto e registo das ações, boas práticas e lições aprendidas.	- Configurar o plano de trabalhos do projeto de digitalização numa plataforma de gestão de projetos. - Organizar o sharepoint para facilitar a partilha da informação. - Elaborar uma apresentação do projeto para disseminar na organização e assegurar que todos têm conhecimento da mudança que está em curso.	- Definir sprints de trabalho e acompanhar a sua execução. - Documentar os trabalhos em curso. - Realizar reuniões periódicas de pontos da situação.	Promover a adoção das metodologias Lean e 6 Sigma para a melhoria contínua dos processos, produtos e da empresa como um todo.



4.1. DIAGNÓSTICO

O diagnóstico i4.0 desenvolve-se nas seguintes fases:

01

Apresentação,

pela administração da empresa, de forma autónoma ou com o apoio de equipas consultoras especialistas, dos objetivos da transformação digital na empresa e do Roadmap que será desenvolvido. Em paralelo, é fundamental que a empresa identifique as pessoas chave para preconizar a sua transformação digital.

Nesta fase, recomenda-se a criação de uma identidade gráfica com a qual a empresa se identifique e que simbolize a visão, missão e princípios da estratégia de transformação digital.

02

Resposta ao diagnóstico i4.0,

disponível em www.shift2future.pt, pela administração e pelos responsáveis das áreas-chave.

03

Avaliação

pela administração e pelos responsáveis das áreas-chave, das respostas dadas ao questionário online e perceber, em detalhe, pelo menos os seguintes aspetos:

- Principais desafios e constrangimentos.
- Modelo orgânico e respetivos fluxos de responsabilidades.
- Arquitetura de processos e sistemas de informação que os suportam.
- Equipa e respetivas competências digitais.
- Infraestrutura tecnológica atual de suporte à gestão das operações.
- Nível de digitalização das operações.
- Sistemas de informação que suportam as operações.
- Níveis de integração e de rastreabilidade da informação para assegurar um fluxo contínuo e Lean de dados.
- Investimentos em curso.

04

Elaboração de um relatório

de diagnóstico que caracterize o ponto de partida do estado de maturidade digital, as áreas críticas de intervenção e defina uma visão da estratégia de digitalização, um plano de ação, custos e equipa, bem como instrumentos de financiamento.

05

Organização de uma sessão de apresentação

e discussão do relatório de diagnóstico, envolvendo o mais possível todos os colaboradores.

06

Revisão do relatório

e envio da versão final.



4.2. VISÃO DA ESTRATÉGIA DE DIGITALIZAÇÃO

A visão da estratégia de digitalização deve ter uma abrangência holística, ou seja, incluir toda a cadeia de valor da empresa, e contribuir para “criar um todo verdadeiro que é maior que a soma das suas partes” (Peter Drucker), conforme ilustrado na figura 4. Na definição desta visão, é crítico assegurar a transformação dos dados em conhecimento e valor para a empresa. Para tal, a metodologia a adotar deverá compreender as seguintes ações, resumidas na figura 5.

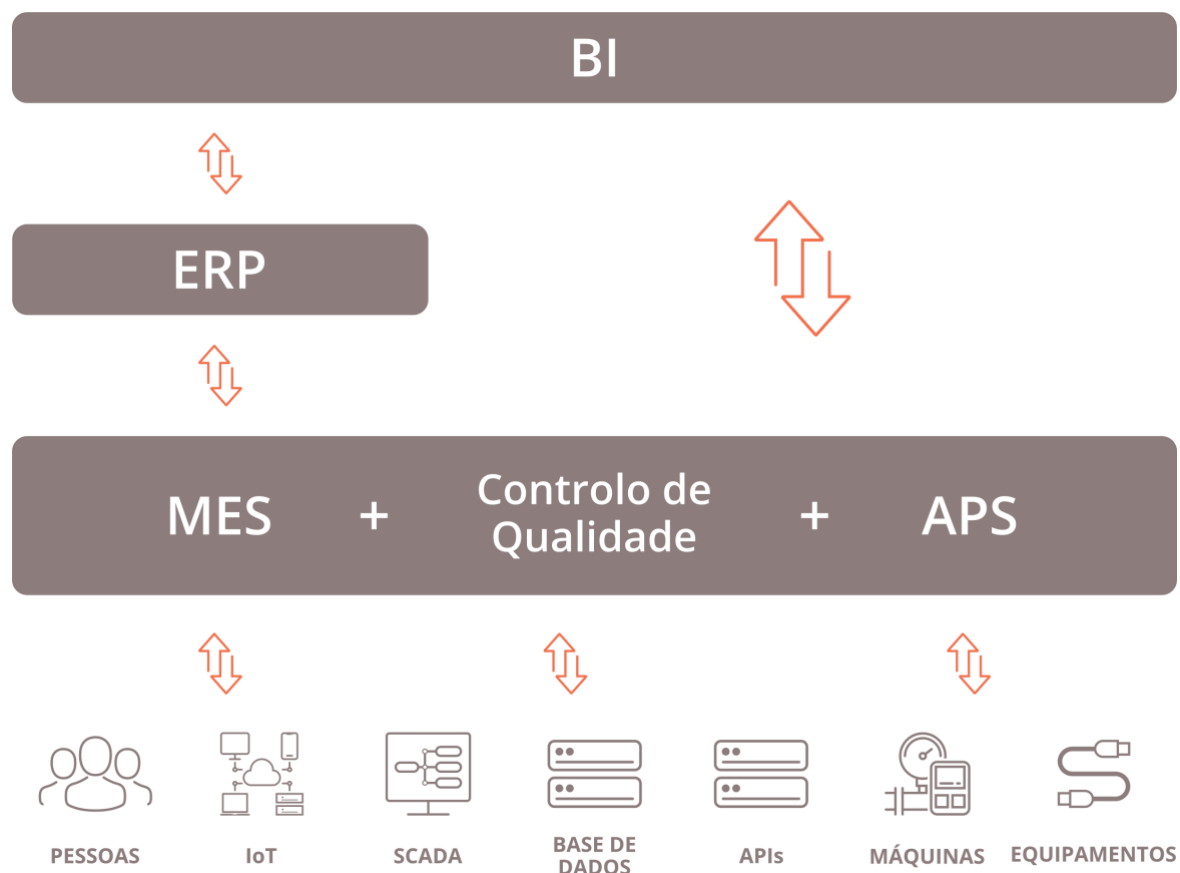


Figura 4: Visão da estratégia de digitalização.

01. Identificar as variáveis críticas de cada operação/processo que integram a cadeia de valor da empresa (ex: preparação das matérias-primas; conformação; secagem; tratamento da superfície e cozedura, controlo da qualidade, embalagem, transporte, valorização de resíduos, gestão da energia e das emissões de GEE, etc).

02. Perceber como são medidas estas variáveis e como são rastreadas (ex: inspeção visual automática de defeitos, controlo de peso ou dimensional de um produto, medição dos consumos energéticos e das emissões de GEE, etc.).

03. Definir os indicadores de desempenho (KPIs) que se pretendem calcular e medir em tempo real.

04. Mapear, caracterizar e validar as fontes de recolha de dados. Nesta fase, é importante analisar os sistemas de informação que suportam os processos, respetivas bases de dados e níveis de integração. É comum haver dados dispersos em folhas de cálculo, com uma categorização insuficiente, que dificulta a sua análise.

05. Implementar uma rede de dados industrial segura, através da adoção de sistemas de cibersegurança.

06. Ligar, à rede industrial, máquinas e equipamentos a sistemas de informação.

07. Definir um fluxo contínuo de dados que seja capaz de ligar variáveis, de forma, automática, na cadeia de valor (ex: quantidade de matéria-prima gasta por hora, consumos energéticos, tempos de paragem, percentagem de desperdício, etc).

08. Integrar sistemas de informação para evitar duplicação de tarefas e assegurar este fluxo

contínuo (ex: o CRM - Customer Relationship Management com o ERP - Enterprise Resource Planning, o gestor da produção, o SCADA, o MES - Manufacturing Execution System do chão de fábrica, o sistema de controlo da qualidade, etc).

09. Identificar, nos sistemas de informação, “estados” ou ações que impliquem uma mudança de fase, para se medirem, por exemplo, os tempos de produção e paragens, defeitos, etc.

10. Definir uma estratégia de análise estatística adequada a cada tipo de variável (nota: efetuar o controlo estatístico de variáveis dimensionais é diferente de analisar defeitos).

11. Desenhar os dashboards a desenvolver para cada tipo de variável ou conjunto de KPIs (Key Performance Indicators).

12. Desenvolver um sistema de Business Intelligence integrado com as diversas fontes de dados, que permita explorar esta Big Data através de uma visualização analítica dos dados e dos indicadores de desempenho (KPIs), que pode integrar modelos preditivos para situações correntes e pontuais, associados a regras de alarmística de suporte à operação.

13. Promover a programação de lógicas implícitas de negócio, que estão apenas “na cabeça das pessoas”, em algoritmos que tornem explícito esse conhecimento.

14. Capacitar as pessoas para a medição, monitorização e controlo das variáveis, KPIs, com vista à otimização dos processos.



Figura 5: Metodologia a adotar.

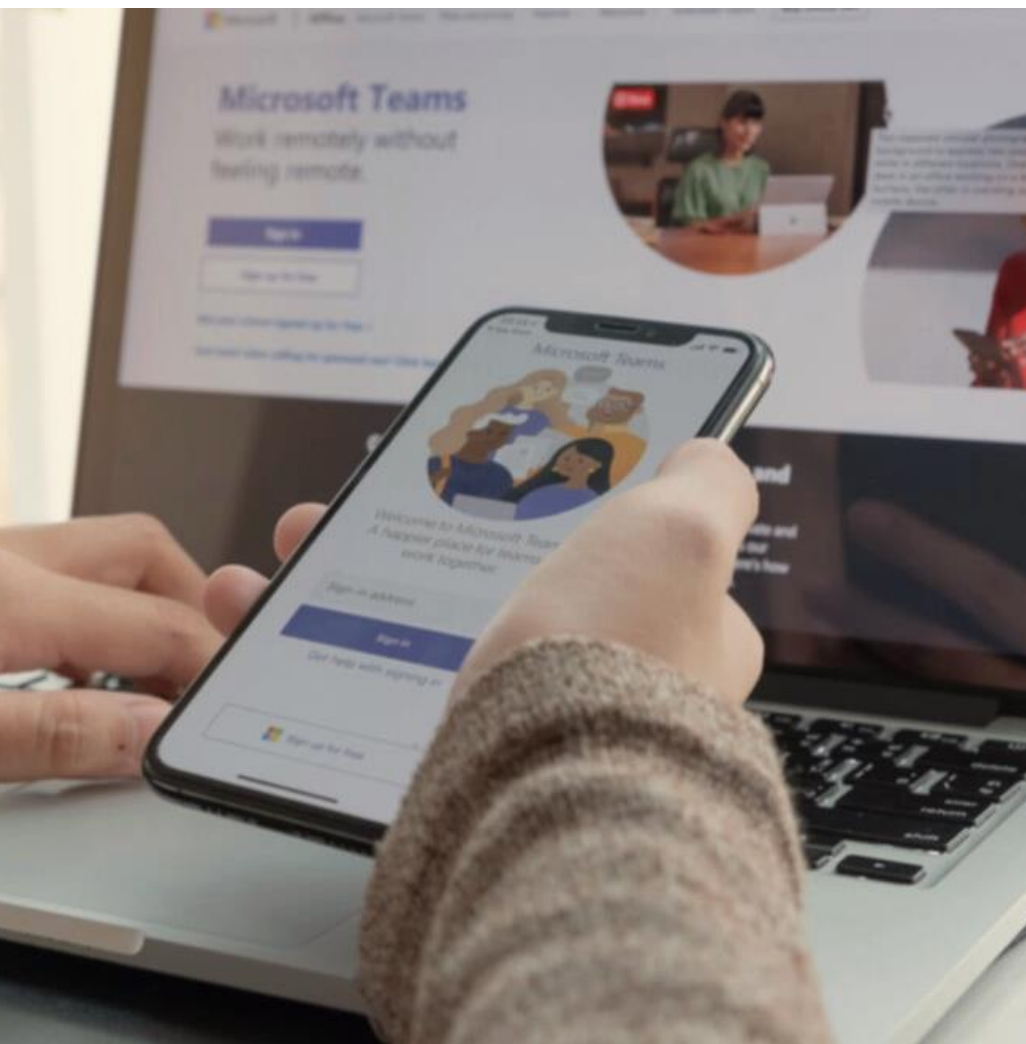


4.3. PLANO DE AÇÃO E EQUIPA

Em função do diagnóstico realizado e da definição da estratégia de digitalização, deve ser traçado um plano de ação e respetivo cronograma. Apresenta-se, de seguida, na Tabela 1 um exemplo. Neste exemplo, indicam-se possíveis atividades e entregáveis a obter para as áreas-chave do setor da cerâmica, nomeadamente: preparação das matérias-primas; conformação; secagem; tratamento da superfície e cozedura, controlo da qualidade, embalagem, transporte, valorização de resíduos, gestão da energia e das emissões de GEE, etc.

Tabela 1: Exemplo de plano de implementação da estratégia de digitalização, cronograma e entregáveis.

ATIVIDADES E TAREFAS	ENTREGÁVEIS
A1 Arquitetura Tecnológica (1 mês)	- Definição de uma infraestrutura tecnológica segura e de alta disponibilidade. - Avaliação de custos de manutenção dessa infraestrutura.
A2 Implementação da Estratégia de Digitalização (6 a 12 meses)	- Estratégia de digitalização implementada conforme a visão definida. - Equipa capacitada para dar resposta a esta mudança.
T2.1 Gestão da cadeia de valor	- Processos revistos para assegurar os pontos de integração na cadeia de valor. - Seleção, caso não exista, de um ERP que inclua toda a cadeia de valor da empresa. - Pontos de integração do ERP com outros sistemas.
T2.2 Gestão comercial	- CRM implementado e integrado com o ERP (caso sejam diferentes). - Dashboards do desempenho comercial da empresa.
T2.3 I&D	- Sistema de design, desenho CAD, de realidade virtual, de prototipagem rápida, entre outros que acelerem o desenvolvimento de novos produtos. - Estratégias de economia circular. - Estratégias de descarbonização da indústria e de redução das emissões de GEE. - Estratégias de automatização de operações com recurso a robots e outros mecanismos.
T2.4 Gestão da produção.	- Capacidade da rede industrial para recolher dados, devidamente indexados, das máquinas, equipamentos, sensores, etc. - Caso não exista, proposta de sistema de gestão de stocks, do planeamento e da produção, identificando integrações a realizar com os sistemas MES de chão de fábrica, máquinas, robots, etc, para garantir um processo lean. - Caso exista, lista de alterações a realizar no ERP para garantir uma gestão lean, ágil e eficiente do planeamento e da produção. - Design do dashboard da gestão da produção.
T2.5 Gestão da qualidade, ambiente e segurança.	Indicar um sistema que permita o controlo das variáveis críticas da qualidade, ambiente e segurança e que integre com o ERP.
T2.6 Gestão logística	- Processo logístico revistos para assegurar os pontos de integração na cadeia de distribuição vertical e a sua otimização. - Indicar, caso se aplique, sistemas de gestão de frotas e rotas. - Design do dashboard da gestão logística.
T2.7 Análise de Big Data	- Design da matriz de integração de sistemas, para assegurar um fluxo contínuo e lean de dados rastreados e fiáveis. - Design da estratégia de análise estatística dos KPIs da organização e que podem ser obtidos por via manual ou automática, através da integração entre sistemas. - Sistema de BI implementado, quando os dados já estão disponíveis e devidamente rastreados.
A3 Capacitação das Pessoas	Equipas capazes de atuar, sem restrições, segundo novo modus operandi ou com novos sistemas de informação de gestão logística e/ou da produção.



4.4. EXECUÇÃO

Para o acompanhamento e avaliação da execução do plano de intervenção, bem como a tomada de quaisquer decisões conducentes à sua adequada execução, sugere-se:

- A criação de um canal de comunicação (Ex: Microsoft Teams) e respetivo sharepoint para facilitar a comunicação e a partilha de documentos entre as equipas responsáveis pela implementação do plano de ação.
- A utilização de uma plataforma colaborativa (ex: JIRA, Smartsheet) para a gestão e acompanhamento da execução do projeto de transformação digital.
- O registo das horas afetas ao projeto de cada membro da equipa numa plataforma colaborativa.
- O controlo dos custos em CAPEX e OPEX.
- Que as equipas promovam reuniões periódicas, das quais existem registos.
- A elaboração de relatórios intercalares que sejam capazes de “contar a história do projeto”.
- A elaboração de um relatório final do projeto de transformação digital.



4.5. AVALIAÇÃO

A avaliação do projeto de transformação digital pode ser realizada a vários níveis, nomeadamente:

- Do estado de execução do projeto.
- Das expectativas dos colaboradores face aos resultados que estão a ser obtidos.
- Da satisfação dos gestores da empresa face aos resultados.
- Dos indicadores de desempenho económico e operacional da empresa.
- Do novo estado de maturidade digital através de nova resposta ao questionário Shift2Future.

Na Tabela 2, apresenta-se um conjunto de indicadores que podem ser usados para avaliar o impacto do projeto de digitalização, como o grau de execução do projeto, o cumprimento do seu plano de trabalhos e orçamento, o nível de upgrade tecnológico dos processos, as novas competências adquiridas pelas pessoas e a propriedade intelectual gerada e que contribui para aumentar o valor da empresa.

Tabela 2: Scorecard de medição do impacto da transformação digital.

KPI	DESCRIÇÃO	TIPO DE VARIÁVEL	FREQUÊNCIA	MEDIÇÃO
Lead Time	Tempo total de desenvolvimento do projeto de transformação digital e comparação com o planeado.	Numérica Contínua	Por projeto	É o tempo que decorre deste o kick off do projeto até à sua conclusão.
Lead Cost	Custo total de desenvolvimento do projeto de transformação digital e comparação com o planeado.	Numérica Contínua	Por projeto	É o custo global do projeto de inovação, incluindo investimento em imobilizado, horas homem e outros custos.
Grau de Execução	Iniciativas implementadas versus iniciativas planeadas. Custo executado versus custo planeado.	Numérica Contínua	Por projeto	É o rácio entre iniciativas ou custo executado/ iniciativas ou custo planeado.
Valor da PI	Valor da propriedade intelectual gerada.	OK/ NOK	Por projeto	Se foi ou não gerada propriedade intelectual para a empresa. Por exemplo, um sistema de informação desenvolvido à medida.
Up-Skills - Processos	Processos que foram alterados ou sofreram uma atualização tecnológica.	N.º de Processos e Quais	Por projeto	N.º de processos e quais sofreram processos de transformação digital.
Up-Skills - Pessoas	Novas competências adquiridas pela equipa, novas funções que decorrem da digitalização.	Novas Funções e Skills	Por projeto	Novas competências e ou funções que foram desenvolvidas com a transformação digital.
Grau de Digitalização	Resultado da resposta ao Diagnóstico i4.0 disponível em www.shift2future.pt .	Numérica	Por projeto	Resultado da resposta ao Diagnóstico i4.0 disponível em www.shift2future.pt .

5. CONCLUSÕES

A indústria da cerâmica destaca-se pelo seu desígnio de produção sustentável através da adoção dos princípios da Indústria 4.0.

É um setor no qual se pode automatizar praticamente a 100% o processo de fabrico. Por exemplo, com recurso a braços robóticos, transportadores e empilhadoras integrados, no qual a função dos trabalhadores passa a ser de supervisão e ajuste.

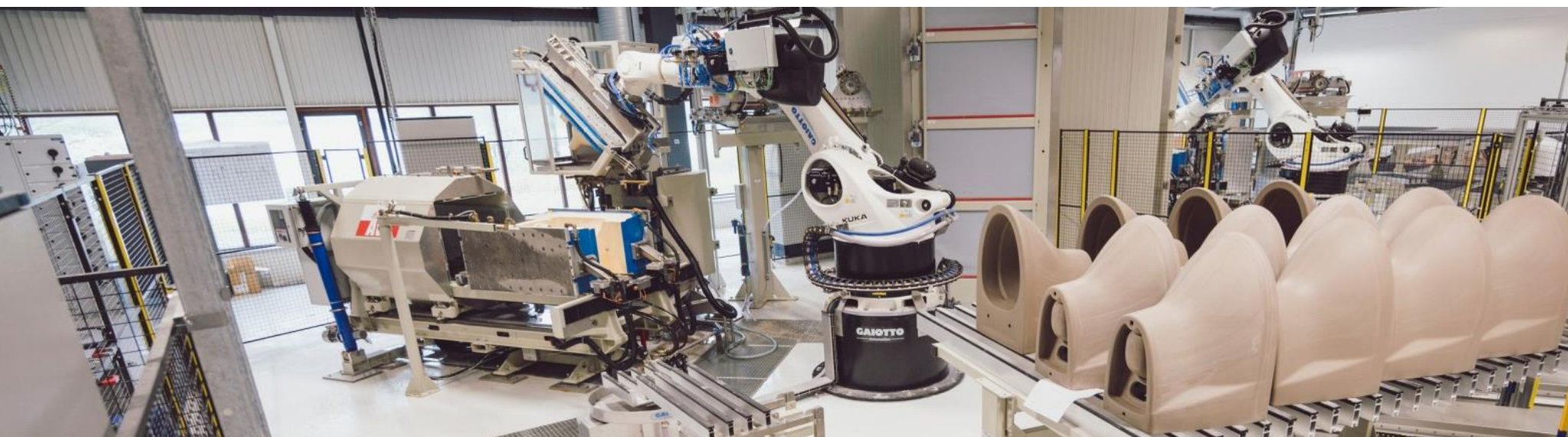
A ausência deste nível de automatismo é inclusive perigosa para a saúde dos trabalhadores, pois pode existir a inalação de pó macio (giz), contacto com um ambiente de alta temperatura (a temperatura do forno ronda os 1200°C), e esforços com cargas pesadas. Com o manuseamento manual de máquinas e materiais pela linha de montagem, aumenta a probabilidade de ocorrência de defeitos e a informação não fica disponível para avaliação e controlo.

Com a adoção de tecnologias I4.0, torna-se possível controlar e monitorizar, em tempo real, todo o processo produtivo, acompanhar os seus indicadores de avaliação do desempenho e definir ações de melhoria com vista à otimização e à sustentabilidade.

Além da supervisão de operações, a intervenção humana concentrar-se-á nos processos de melhoria contínua.

É igualmente relevante uma aposta na Investigação & Desenvolvimento e na introdução de sistemas CAD-3D e realidade virtual para o desenvolvimento e prototipagem de novos produtos.

As tecnologias da Indústria 4.0 permitem alcançar valor organizacional sustentável quando são implantadas com uma abordagem centrada no trabalhador e no ambiente. Desta forma é possível obter significativos ganhos de produção, diminuir o lead time dos produtos, reduzir defeitos e otimizar os consumos energéticos, em prol da descarbonização da indústria cerâmica.



6. REFERÊNCIAS

- APICER & CTCV. (2012). *Manual de boas práticas na utilização racional de energia e energias renováveis*. http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/2012/ManualBoas_Praticas_Energia_Apicer.pdf
- British Ceramic Confederation. (2017). *Industrial Decarbonisation and Energy Efficiency Roadmap Action Plan*. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/651229/ceramics-decarbonisation-action-plan.pdf
- EU-MERCI. (2018). *Technical analysis –Ceramic sector (NACE C23.2-23.4)*. <http://www.eumerci.eu/wp-content/uploads/2018/01/Ceramic.pdf>
- European Commission. (2007). *Ceramic Manufacturing Industry*. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/cer_bref_0807.pdf
- IAPMEI. (2022). *SETOR Cerâmica*. https://www.iapmei.pt/PRODUTOS-E-SERVICOS/Industria-e-Sustentabilidade/Informacao-Setorial/DOCS_InfSetorial/FichaCeramica_022022.aspx
- Kellner, T., Necas, M., Kanak, M., Kyncl, M., Kyncl, J. (2020). Assessment of Readiness for Industry 4.0 Implementation in Ceramic Industry. *Manufacturing Technology*, 20(6), 763-770. <https://journalmt.com/pdfs/mft/2020/06/01.pdf>
- MEESI. (2019). *Cerâmica. Medidas de Eficiência Energética em Sistemas Industriais*. <https://www.meesi.pt/medidas-setor/ceramica> (Consultado no dia 9 de março de 2023).
- Mendes, J. P. (2023). *Aplicações de automação na indústria de cerâmica* [Dissertação de mestrado em Engenharia Eletrotécnica]. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/44358/1/Joao-Pedro-Godinho-Mendes.pdf>
- Molina-Morales, F. X, Martínez-Cháfer, L., & Valiente-Bordanova, D. (2017). Disruptive Technological Innovations as New Opportunities for Mature Industrial Clusters. The Case of Digital Printing Innovation in the Spanish Ceramic Tile Cluster. *Investigaciones Regionales - Journal of Regional Research*, 39, 39-57. <https://www.redalyc.org/journal/289/28966569003/html/>
- PWC. (2016). *Capacitação da indústria da Cerâmica Portuguesa: Um cluster, uma estratégia, mercados prioritários*. <https://www.apicer.pt/apicer/media/5a30133123e67.pdf>
- Ribeiro, M. J. (2021). Conformação de louça por via plástica. *Técnica – Revista Técnica de Cerâmica e Vidro*, 8, 14-17. https://issuu.com/ctcv/docs/revista_tecnica_8_marco-abril_/s/12370836
- Vieira, C., Alves J., Silva, A., & Roque, M. (2011). *Manual de produção + limpa. AEP - Câmara de Comércio e Indústria*. <https://www.studocu.com/pt/document/instituto-universitario-de-lisboa/estrategia-financeira-da-empresa/bench-mark-ae-manual-producao-mais-limpa-ceramica-1/10491072>
- Imagens:**
- Geberit Group. (2019, maio). Modern ceramics plant highly automated and process-optimized production. *Geberit Group*. <https://www.geberit.com/insights/modern-ceramics-plant/>. (extraída no dia 14 de março de 2023)
- Rock/ZSZ, S. (2019, 2 de novembro). Geberit trotz dem schwierigen Umfeld. *Geldblog*. <https://blog.tagesanzeiger.ch/geldblog/index.php/79909/geberit-trotzt-dem-schwierigen-umfeld/>. (extraída no dia 14 de março de 2023)
- Geberit Group. (2022, novembro). High-Pressure Ceramic Production. *Geberit Group*. <https://www.geberit.com/insights/high-pressure-ceramic-production/>. (extraída no dia 14 de março de 2023)
- MestreBras. (s/d). Forno / Mufla Profissional B THERM P 500 1320°C 500L. https://www.mestrebras.pt/product/forno-mufla-profissional-btherm-p-500-1320-c-500l?sales_channel=google_shopping&gclid=Cj0KCQjw2cWgBhDYARIsALggUhq26PO55dXdhKd6OmA8JaTB69nsD55yf3uAtL07Q2QaVXnEpRBHDjsaArTpEALw_wcB. (extraída no dia 14 de março de 2023)
- Pedra Rústica. (s/d). Churrasqueiras. <https://pedra-rustica.com/churrasqueiras.html>. (extraída no dia 14 de março de 2023)

ROADMAP PARA A TRANSIÇÃO DIGITAL
DO SETOR DA CERÂMICA

www.shift2future.pt

SHIFT2 FUTURE

CONSÓRCIO



IAPMEI
Parcerias para o Crescimento



TECMINHO
UNIVERSIDADE DO MINHO INTERFACE



universidade
de aveiro



REPÚBLICA
PORTUGUESA

ECONOMIA E
TRANSIÇÃO DIGITAL



PORTUGAL
DIGITAL
MOVING FORWARD.
MOVING WITH A PURPOSE.

PROJETO CO-FINANCIADO POR:

COMPETE
2020

PORTUGAL
2020



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de
Desenvolvimento Regional