



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Fernanda Luiza Born

**O RETORNO SOBRE INVESTIMENTO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SOFTWARE
MES EM INDÚSTRIA DE ALIMENTOS - ESTUDO DE CASO**

Florianópolis

2023

Fernanda Luiza Born

**O RETORNO SOBRE INVESTIMENTO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SOFTWARE
MES EM INDÚSTRIA DE ALIMENTOS - ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida
ao curso de Engenharia de Alimentos da
Universidade Federal de Santa Catarina para
a obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Alimentos

Orientador: Prof^o. Acácio Zielinski

Florianópolis

2023

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e maior incentivador, que nunca mediu esforços pra me ver alcançando meus sonhos. Sem ele não estaria aqui.

A minha vó Nair por todos os conselhos.

A minha família por ser base, força e amor incondicional.

A minha equipe LiveMES, em especial meu gestor João Pedro Mendes e meu colega Gustavo Bernardini, que me orientaram nessa caminhada, demonstraram apoio e contribuíram fortemente com tantos ensinamentos.

A Franciele Portz, que abraçou este desafio comigo como se fosse dela e não só tornou ele possível mas superou as expectativas.

RESUMO

O Sistema de Execução da Manufatura (MES) é uma tecnologia dentro da Indústria 4.0 atribuída ao gerenciamento do chão-de-fábrica, que, ao fornecer dados em tempo real, permite monitorar processos e levá-los a uma maior eficiência operacional. Neste estudo de caso é apresentado o Retorno sobre Investimento da utilização de um software MES desenvolvido pela HarboR Inteligência Industrial (o LiveMES), em um cliente seu do setor alimentício. A empresa é uma das maiores fabricantes de doces do país e produz mais de 2,6 milhões de quilogramas de guloseimas por mês, desde balas e chicletes até marshmallows e refrescos em pó. Com o objetivo de justificar a implantação do sistema e o retorno financeiro gerado por ele, a pesquisa levanta todos os dados e cenários que corroboram o desenvolvimento de uma metodologia eficiente de ROI e que auxiliará gestores industriais na tomada de decisão referente ao meio fabril. As informações que serviram de base para o trabalho foram coletadas tanto por questionários com a Especialista em Excelência Operacional da empresa estudada, Franciele Portz, quanto pela base de dados do LiveMES. Entre os resultados alcançados, identificaram-se a melhoria nos indicadores operacionais de eficiência da máquina, uma metodologia de ROI clara e de fácil manutenção com base nos dados de disponibilidade, performance e qualidade e uma resposta financeira positiva à implementação do software MES.

Palavras-chave: Sistema de Execução da Manufatura; Retorno sobre Investimento; Indústria de Alimentos.

ABSTRACT

The Manufacturing Execution System (MES) is a technology within Industry 4.0, attributed to the management of factory floor operations, which, by providing real-time data, enables the monitoring of processes and leads them to greater operational efficiency. This case study presents the Return on Investment from the use of an MES software developed by HarboR Industrial Intelligence (LiveMES), in one of their clients from the food sector. The company is one of the largest candy manufacturers in the country, producing over 2.6 million kilograms of sweets per month, ranging from candies and chewing gums to marshmallows and powdered refreshments. With the aim of justifying the system's implementation and the financial return it generated, the research gathers all data and scenarios that corroborate the development of an efficient ROI methodology, which will assist industrial managers in making decisions regarding the manufacturing environment. The information that served as the basis for the work was collected both through questionnaires with the company's Operational Excellence Specialist, Franciele Portz, and through the LiveMES database. Among the achieved results, improvements were identified in the operational indicators of machine efficiency, a clear and easily maintainable ROI methodology based on data of availability, performance, and quality, and a positive financial response to the implementation of the MES software.

Keywords: Manufacturing Execution System; Return over Investment; Food Industry.

LISTA DE ABREVIATURAS

API	Application Programming Interface
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPS	Cyber physical systems
ERP	Enterprise Resource Planning
IA	Inteligência Artificial
IP	Internet Protocol
IoT	Internet of Things
I4.0	Indústria 4.0
MES	Manufacturing Execution System
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PIB	Produto Interno Bruto
PMaaS	Production Manager as a Service
ROI	Return over Investment
SaaS	Software as a Service
SKU	Stock Keeping Unit
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA.....	8
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.2 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM.....	11
2.3 O INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO.....	14
2.4 O INDICADOR FINANCEIRO DE RETORNO SOBRE INVESTIMENTO.....	15
3. O SETOR DE ALIMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0.....	18
4. ESTUDO DE CASO: USO DA FERRAMENTA MES EM UMA INDÚSTRIA DE DOCES.....	20
4.1 LIVEMES.....	20
4.2 PORTZ DOCES.....	23
5. METODOLOGIA.....	27
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
6. 1 CENÁRIO ATUAL.....	29
6.2 DADOS OPERACIONAIS.....	29
6.3 FUNDAMENTAÇÃO PARA O CÁLCULO DE ROI.....	31
6.4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	32
7. DESAFIOS E LIMITAÇÕES.....	34
8. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial trouxe a automatização do chão fabril e, com isso, exigiu dos gestores a inovação no gerenciamento de uma fábrica para manter a competitividade da empresa dentro do mercado e até mesmo a permanência nele. Desde então, o desenvolvimento das tecnologias de informação e a integração delas nos processos de produção ganharam espaço e alavancaram a produtividade industrial através de soluções eficazes que garantem visibilidade e assertividade aos clientes (CHENG et al.,2015).

Nesse cenário, o software MES ou Manufacturing Execution System surgiu com a necessidade de um monitoramento de produção automatizado, fornecendo dados em tempo real e um controle de informações preciso, preditivo e analítico para auxiliar a tomada de decisão (Laudon e Laudon, 2001). Em um ambiente produtivo, a falta de informações confiáveis no chão de fábrica cria uma perspectiva que não retrata a realidade (Favaretto, 2001) e exclui a empresa dos fundamentos que caracterizam uma Indústria 4.0 que, como diz Geissbauer et al.(2014), melhora a eficiência dos processos e, por consequência, reduz custos em toda a cadeia de valor.

1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA

A cultura organizacional no Brasil ainda é bastante rígida e resistente a mudanças. Dessa forma, pensar em um conceito novo como a Indústria 4.0 representa uma transformação significativa para qualquer companhia de manufatura, principalmente para o setor alimentício, um dos mais atrasados da revolução industrial. Embora haja um reconhecimento amplo dos benefícios potenciais, os gestores industriais encaram questionamentos da alta gerência além de uma série de desafios que podem hesitar no avanço dos projetos de modernização, como a reengenharia dos processos produtivos, o treinamento dos envolvidos e, o mais importante, o investimento inicial necessário. Essas objeções são intensificadas por um retorno monetário vago e incompreendido na aplicação de um MES. Este trabalho se concentra na implementação de um software MES, mas a problemática se estende a várias outras tecnologias.

Entretanto, alguns gestores, mesmo com as objeções citadas, entendem a relevância da modernização e acreditam que os ganhos financeiros sobrepõem o investimento despendido. O próximo passo é justificar racionalmente isso para a alta gestão, mas como?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é incentivar que gestores industriais desenvolvam seus próprios raciocínios matemáticos para comprovar o retorno sobre investimento da aplicação de um *Manufacturing Execution System* com base em critérios e prioridades estabelecidos por eles. Espera-se que a metodologia estruturada gere valor suficiente para que a própria indústria motive-se a continuar o projeto e o aprimore cada vez mais.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular o Retorno sobre Investimento da utilização do MES em uma máquina dosadora com base nos três pilares do OEE (disponibilidade, performance e qualidade) em um dos maiores fabricantes de doces do Brasil;
- Comprovar os benefícios tangíveis da aplicação de um MES;
- Desmistificar a complexidade do cálculo de Retorno sobre Investimento e simplificá-lo por meio do estudo de caso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

O papel da indústria na história foi essencial ao progresso econômico das nações e, com isso, a forma de produzir bens passou por mudanças profundas desde a Primeira Revolução Industrial, sempre visando o aumento da eficiência produtiva. Nesse contexto, a Indústria 4.0 surge em 2011 como uma iniciativa de longo prazo do governo alemão para garantir a competitividade das indústrias de pequeno e médio porte, frente às grandes, e é incorporada como um elemento-chave no Plano de Ação High-Tech Strategy 2020 (KAGERMANN, 2013). Desde então, a esfera industrial vem sendo influenciada por essa tendência.

A Indústria 4.0 emerge pela integração de tecnologias digitais e físicas em processos de fabricação, por meio da automação, enfrentando o desafio de ser altamente rentável em um ambiente de produção em massa (KAGERMANN, 2013). Com um potencial bastante ambicioso, espera-se que esse modelo de negócios resulte em um aumento de produtividade de aproximadamente 78 bilhões de euros em até 2025 (BAUER et al., 2014). A estrutura da I4.0, bem como do software MES, fundamenta-se em um grupo de tecnologias que incluem a Internet das Coisas (IoT), os sistemas Cyber-Físicos (CPS), computação em Cloud e a Inteligência Artificial (IA), configurando alguns dos pilares principais da indústria moderna.

Nesse contexto, a IoT é amplamente definida como uma rede de dispositivos, veículos, eletrodomésticos e outros objetos que estão equipados com sensores ou software com conectividade à internet que, com o armazenamento de dados em nuvem, possibilita o controle do meio físico de qualquer lugar do mundo. O princípio fundamental que define a rede IoT é a atribuição de um endereço IP único a cada equipamento ou objeto (Kundhavi & Sridevi, 2016), ou seja, as informações de cada dispositivo, independentemente de sua natureza, podem ser identificadas de forma exclusiva por meio de um endereço específico e único em servidores remotos mantidos por provedores em nuvem.

Este formato em nuvem surgiu como uma alternativa ao modelo de armazenamento por servidor local, aquele que está fisicamente hospedado na empresa em alguns casos. Essa configuração requer que tanto a infraestrutura física quanto os serviços de suporte sejam locais, ou seja, necessita da presença de hardware, licenças de software, grande capacidade de memória, instalações elétricas e de climatização, bem como de uma equipe interna de TI, manutenção e segurança contínua para garantir o funcionamento pleno da infraestrutura. A

migração de sistemas industriais para a nuvem é uma tendência que tem ganhado destaque nos últimos anos devido aos benefícios que a computação em nuvem oferece, como escalabilidade, acessibilidade e eficiência de custos. O aumento da adesão ao trabalho remoto e das necessidades de colaboração à distância durante a pandemia do COVID-19 também contribuíram para a aceleração desse modelo.

Nesse cenário, a conexão entre tecnologia IoT e computação em Cloud só foi possível através de sistemas ciberfísicos: elementos - máquinas, produtos ou dispositivos - capazes de trocar dados de modo independente e proporcionar uma relação interativa com o mundo físico. A primeira manifestação dessa tecnologia foi por chips RFID (Identificação por Radiofrequência), um sistema de identificação automática que permite a captura de dados por meio de etiquetas, chamadas de *tags*, e armazenam informações como localização, histórico e condição. Esses dados habilitam as estações de trabalho a identificarem as fases de produção exigidas para cada item e ajustam-se para realizar tarefas específicas com base nos dados recebidos.

Com o avanço tecnológico, os sistemas ciberfísicos passaram a integrar à rede IoT e à computação em Cloud, permitindo, em função dessa associação, a coleta e análise de grandes volumes de informações em instantes, o monitoramento em tempo real e a ágil tomada de decisões baseada em dados (ZANELLA, 2014). Por esse motivo, a IoT e o conceito de *Big Data Science* estão constantemente interligados.

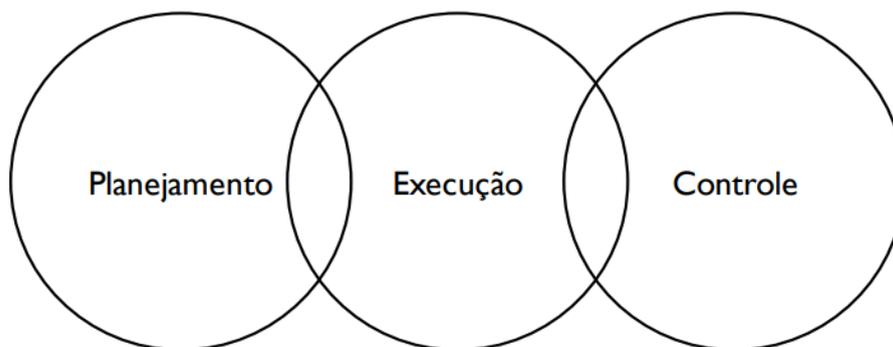
Apesar de ainda representar um grande desafio, a Indústria 4.0 também se associa ao uso de inteligência artificial na resolução de problemas e na otimização de processos. Conforme Dall'Agnol (2022), a Inteligência Artificial permite que máquinas detectem, aprendam e funcionem de maneira similar aos seres humanos, mas de forma mais rápida. Assim, pode ser utilizada na identificação de padrões e otimização para redução de desperdícios, previsão de falhas em máquinas e equipamentos evitando paradas não planejadas, criação de manufatura inteligente, adaptável à tomadas de decisões em tempo real, entre muitas outras vantagens ainda nem exploradas.

2.2 MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM

Um modelo de negócios industrial se baseia em três níveis: planejamento, execução e controle (Figura 1). Durante o planejamento, realiza-se o sequenciamento das ordens de produção, que são enviadas para o próximo nível, a execução, enquanto o controle recebe as informações sobre as ordens de produção e coordena as atividades. O Sistema de Execução da

Manufatura (MES – Manufacturing Execution System) surgiu com a necessidade de integrar o planejamento e o controle, por meio do monitorando do nível intermediário, a execução (SHIRASUNA, 2008; PADRÃO JR; ALVES FILHO; LANNA, 2002).

Figura 1 - Modelo de negócios de uma empresa industrial.



Fonte: Vanderlei, M. L. (2009)

Em um modelo tradicional de controle fabril, o acompanhamento das ordens de produção são planejadas e programadas manualmente, geralmente com o auxílio de planilhas eletrônicas ou sistemas de planejamento de recursos empresariais que não estão integrados em tempo real com o chão de fábrica. Os apontamentos das máquinas também são realizados manualmente pelo operador, comumente em formulários em papel, e o intervalo de tempo para que a informação seja digitalizada pode chegar até a um dia. Nesse contexto, não há visibilidade da produção em tempo real, as informações ficam centralizadas e dependentes do operador, bem como a veracidade dos dados, e a tomada de decisão pelos gestores se torna lenta e imprecisa. O software MES rompe esse cenário com um modelo alusivo à Indústria 4.0. Através de coletores IoT que captam a atividade da máquina em tempo real, o sistema permite uma visão detalhada da fábrica, fornecendo informações confiáveis e que levam a uma melhor eficiência operacional (De Ugarte et al., 2009).

Figura 2 - Operador manuseando MES em *tablet*

Fonte: LiveMES

Segundo D’Antonio, Bedolla, & Chiabert, 2017, o software MES baseia-se em duas funcionalidades principais: visibilidade e gestão da informação. A primeira refere-se a uma perceptibilidade do processo, que acontece desde o cadastro das máquinas e produtos, possibilitando ao MES clarificar a capacidade produtiva dos equipamentos, tempos de ciclo para cada produto em uma máquina específica (SKU), tempos de parada, rastreabilidade das ordens de produção, além de outros dados que variam conforme cada empresa desenvolvedora do sistema. A segunda funcionalidade relaciona-se com a tomada de decisão com base em dados, visto que o sistema coleta e processa as informações e disponibiliza uma análise resumida como relatórios de perda e diagramas de Pareto, em um período especificado, alimentando os gestores de produção de conhecimento para a tomada de decisões.

A seguir, podemos visualizar algumas problemáticas comuns em um modelo tradicional fora da Indústria 4.0 e como o MES soluciona elas.

Tabela 1 - 11 Problemas que o MES resolve em uma indústria

Problemáticas da indústria tradicional	Solução através do software MES
Informações de fábrica demoram e não são confiáveis	Fornece dados em tempo real, aumentando a confiabilidade e a rapidez das informações
Falta de visibilidade da fábrica	Melhora a visibilidade operacional com dashboards e monitoramento contínuo dos processos
As paradas de máquina prejudicam muito a produção	Auxilia na prevenção de paradas, identificando padrões e antecipando manutenções
Os níveis de sucata e reprocesso são altos	Reduz sucata e reprocesso através do controle de qualidade e monitoramento constante da produção
A geração de relatórios é muito trabalhosa	Automatiza a geração de relatórios, tornando-a mais eficiente e menos propensa a erros
As máquinas produzem menos do que poderiam	Otimiza o desempenho das máquinas com análises de eficiência e detecção de gargalos
A coleta de dados na fábrica é feita em papel	Digitaliza a coleta de dados, tornando-a mais eficiente, precisa e acessível
A análise de dados é feita em planilhas	Centraliza e automatiza a análise de dados, oferecendo insights mais profundos e acionáveis
Os dados existentes não são usados para a gestão	Facilita a utilização de dados na tomada de decisões gerenciais com informações precisas
Baixa flexibilidade para mudanças na produção	Aumenta a flexibilidade produtiva, permitindo ajustes rápidos e eficientes na produção
Comunicação ineficaz entre departamentos	Permite o compartilhamento de informações em tempo real com qualquer departamento autorizado

Fonte: elaborada pelo autor

2.3 O INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO

O Indicador de Eficiência Global do Equipamento é uma métrica amplamente utilizada na indústria para avaliar a produtividade e a eficiência dos equipamentos no chão de fábrica, sendo a base do Software MES. Ele foi introduzido por Seiichi Nakajima em 1960 como parte da metodologia Total Productive Maintenance (TPM) e do Sistema de Produção Toyota (NAJAKIMA S., 1988) e tem sido usado desde então para fornecer uma visão abrangente da utilização de máquinas e linhas de produção, identificando áreas específicas

onde melhorias são necessárias. Além disso, a implantação do OEE permite que as empresas estabeleçam metas de desempenho, acompanhem o progresso em direção a elas e promovam uma escala de priorização de ações e/ou áreas na tomada de decisão. Hansen (2006) explica que o OEE é expresso em porcentagem e é calculado através do produto de seus três componentes, sendo:

$$\text{OEE (\%)} = \text{Disponibilidade (\%)} \times \text{Performance (\%)} \times \text{Qualidade (\%)}$$

Segundo Seixas Filho (2008), o OEE é um indicador de simples e rápida medição. Hansen (2006), explica que o cálculo do OEE é o produto da disponibilidade (tempo real de operação versus tempo programado de operação) multiplicado pela taxa de velocidade (taxa de velocidade real versus taxa de velocidade teórica) multiplicada pela taxa de qualidade (produtos conformes versus total de produtos fabricados).

Nessa condição, a disponibilidade mede o aproveitamento do equipamento durante o período de trabalho (também conhecido como tempo ativo de máquina), ou seja, a fração de tempo em que a máquina esteve disponível para produzir comparada ao tempo que ela perdeu com paradas não planejadas recorrentes de uma manutenção corretiva, setup de máquina, falhas, falta de mão de obra, escassez de matéria prima, ausência de ordem de produção, entre outros motivos de improdutividade. Setup de máquina é o ajuste do equipamento para a produção de um novo lote de produtos ou mudança de item para outro, que pode incluir a troca de ferramentas, moldes, configurações de software, calibração ou ajustes mecânicos e que, quando não planejado, acarreta em uma grande perda de disponibilidade para a máquina. Paradas planejadas também impactam na redução do tempo ativo, mas não entram no desconto do OEE.

Já a performance avalia o desempenho real do equipamento no quesito velocidade, comparando seu valor teórico e nominal. Dessa forma, a performance pode ser entendida como a eficiência do equipamento ao executar as tarefas. É importante que a máquina opere na velocidade em que foi programada, pois abaixo dela representa uma capacidade produtiva ociosa e acima pode impactar na qualidade e/ou na sequência de linha.

O último pilar do OEE é a qualidade e mede a conformidade do processo. Nele se relaciona a quantidade de peças boas produzidas com a quantidade total produzida, no qual as unidades não conformes serão retrabalhadas ou refugadas e podem ser oriundas de um defeito na matéria-prima, erro de processo ou até um operador mal treinado.

Figura 3 - Desdobramento dos pilares do OEE

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Horas trabalhadas}}{\text{Horas planejadas}}$$

$$\text{Performance (\%)} = \frac{\text{Produção real}}{\text{Produção teórica}}$$

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{Peças boas}}{\text{Peças totais}}$$

Fonte: elaborado pelo autor

O resultado fornece uma visão geral da eficiência global do equipamento, ou seja, OEE de 100% indicaria que o equipamento está operando o mais rapidamente possível, sem nenhum tempo de parada fora do planejado e produzindo apenas peças boas (Kletti, 2007).

Na prática, esse cenário é utópico e os valores de OEE costumam ser inferiores a 100%. Segundo Hansen (2006), um OEE de Classe Mundial (parâmetro de mercado para indústrias de alto nível) é de 85%, entretanto, segundo um estudo levantado pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI) a média do mercado se encontra em 60% e as empresas consideradas de baixa eficiência atingem um OEE de no máximo 40%.

2.4 O INDICADOR FINANCEIRO DE RETORNO SOBRE INVESTIMENTO

No processo de análise de investimentos, uma métrica financeira comum empregada por executivos e gestores é conhecida como Retorno sobre Investimento, ou *Return Over Investment*, que avalia o investimento, em um projeto ou serviço, comparando o ganho monetário ou benefício obtido com os custos associados a ele. Um ROI ocorre quando uma empresa obtém um aumento de receitas, ganha uma redução de custos ou evita incorrer em um custo futuro como resultado desse investimento (ROMEIO, 2017), ele pode ser desenvolvido de acordo com o perfil de cada organização e com um objetivo definido o que facilita sua aplicação em cenários distintos.

Em razão da acirrada concorrência existente no mercado aliada à carência de recursos disponíveis para a realização de investimentos, os gestores são questionados sobre a real necessidade da execução de um novo projeto e desafiados a comprovar os ganhos resultantes dele. Com o Retorno Sobre Investimento elucidado, os líderes reduzem a influência de fatores

subjetivos, como especulações e percepções abstratas, a um cálculo matemático embasado em dados (FRIEDLOB et PLEWA JR, 1996), demonstrado a seguir:

$$ROI = \frac{\textit{Lucro adicional}}{\textit{Investimento total}} \quad (1)$$

ou

$$ROI = \frac{\textit{Aumento de receita} + \textit{Redução de custos}}{\textit{Investimento total}} \quad (2)$$

O ROI permite às organizações determinar se um investimento específico é lucrativo ou se justifica em termos financeiros (Huber, R., & Kolbe, L., 2016), representando um fator decisivo na tomada de decisões e, podendo ser usado por diferentes níveis gerenciais durante o processo de escolha entre as alternativas para alocação de recursos (ROMEIO, 2017). Trata-se de uma expressão lógica, matemática e racional do valor percebido por uma organização ao adquirir um produto ou serviço. Além disso, por ser expresso em porcentagem ou unidade monetária, o ROI normatiza a comparação de projetos e, por essa razão, facilita que, em uma análise de viabilidade, essa medida seja usada para explicar o porquê de uma decisão.

Um exemplo clássico de aplicação do cálculo de Retorno sobre o Investimento (ROI) pode ser observado em um projeto de modernização tecnológica em uma fábrica. Suponha que uma empresa invista \$500.000 em novos equipamentos para automatizar parte de sua linha de produção. Esse investimento visa aumentar a eficiência, reduzir custos operacionais e melhorar a qualidade do produto. Após um ano, a empresa observa que a automação resultou em uma economia de \$150.000 em custos operacionais e um aumento de receita de \$100.000 devido à melhoria da qualidade e da demanda do produto. Assim, o ganho total é de \$250.000. O ROI é calculado subtraindo o custo inicial do investimento (\$500.000) do ganho total (\$250.000), dividindo esse resultado pelo custo do investimento e multiplicando por 100 para obter uma porcentagem. Neste caso, o ROI seria de -50%, indicando que a empresa ainda não recuperou o valor investido no primeiro ano, mas provavelmente recuperará no próximo ano.

3. O SETOR DE ALIMENTOS NA INDÚSTRIA 4.0

A inserção de todos os setores de manufatura na Indústria 4.0 representa uma revolução significativa da indústria brasileira, rumo à modernização e excelência operacional, oferecendo controle mais preciso dos processos, desde a gestão da cadeia de suprimentos até a linha de produção. Segundo um levantamento da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) realizado em 2017, o uso dos conceitos da indústria 4.0 podem trazer, de imediato, uma economia de R\$ 73 bilhões ao ano para o país. No setor de alimentos, a adoção dessas tecnologias traz benefícios substanciais, como destacado por Schwab (2016), e permitem uma produção mais eficiente, segura e inovadora.

A integração de tecnologias como IoT e Big Data permite o monitoramento em tempo real dos produtos ao longo de toda a cadeia de valor e, com isso, aprimoram uma característica chave para a segurança alimentar: a rastreabilidade dos alimentos, conforme enfatizado por Meola (2018). Além disso, a implementação de sistemas automatizados e inteligência artificial auxilia na previsão de demanda e otimização do estoque, o que, por consequência, leva à redução de desperdícios e à eficiência financeira, um aspecto crucial para a sustentabilidade, como observado por Chavan (2019). A Indústria 4.0 também possibilita a personalização em massa, ou seja, as empresas podem customizar os produtos mais facilmente para atender às necessidades específicas de clientes, como intolerantes ou alérgicos, sem perder os ganhos de escala.

No entanto, a indústria de alimentos no Brasil ainda se encontra longe desse cenário ideal e enfrenta desafios significativos na jornada. Segundo dados da CNI, os setores mais avançados em tecnologia são o automotivo e o eletroeletrônico, enquanto o setor alimentício se encontra na 21ª posição entre vinte e oito setores. A mesma pesquisa revelou que as principais barreiras apontadas pelos gestores industriais para a inserção na Indústria 4.0 são a falta de conhecimento acerca das tecnologias digitais, a resistência à cultura organizacional, a dificuldade para integrar novos softwares, o risco para a segurança da informação, o tempo de implementação e no topo, liderando com mais de 80% somados, estão o custo de implantação e a falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento. Duas objeções evidentemente interligadas.

Esse contexto, apesar de negativo, recebe um olhar otimista para os próximos anos, principalmente pela pressão externa que o setor de alimentos sofre sobre fatores emergentes. O primeiro é a crescente populacional, projeções da Organização das Nações Unidas para

Alimentação e Agricultura (FAO) indicam que será preciso produzir 70% mais alimentos e bebidas para atender a população mundial em 2050 e isso só será possível com uma mudança no modelo de produção atual. O aumento contínuo da inflação global também está intensificando a pressão sobre a indústria alimentícia, que já opera com margens de lucro bastante limitadas devido à dinâmica entre os fornecedores de matérias-primas e as grandes cadeias de varejo, estas últimas com uma capacidade de negociação consideravelmente alta.

4. ESTUDO DE CASO: USO DA FERRAMENTA MES EM UMA INDÚSTRIA DE DOCES

4.1 LIVEMES

O LiveMES é um sistema MES criado em 2017 pela empresa HarboR Informática Industrial. Com 27 anos de experiência no mercado de tecnologia industrial, a companhia é sediada em Florianópolis e atua em todo mercado brasileiro como também nos Estados Unidos, Canadá, Chile, México, Argentina, Itália, França, China e outros países. A HarboR opera em prol do crescimento e modernização da manufatura no país e investe seus esforços para aumentar a proporção da indústria no PIB do Brasil, como descreve em sua missão. Com isso em mente, reuniu as dores e necessidades dos clientes ao longo de todos os projetos customizados de MES já desenvolvidos e criou um sistema próprio para controle de produção online, o LiveMES.

A fim de monitorar e controlar processos nas fábricas por meio de coletores de dados inteligentes, o LiveMES conecta o planejamento e o controle da produção, visando alcançar a máxima eficiência e a redução de custos. A plataforma é 100% online, acessada facilmente através de qualquer dispositivo com internet, possui uma interface amigável, é independente de estrutura física e a implementação ocorre de forma simples e rápida.

Isso é possível porque o LiveMES se apoia nos conceitos de Indústria 4.0, com coleta de dados por coletores IoT e armazenamento de dados em Cloud, que promovem o acesso fácil às informações em tempo real e de qualquer lugar, desde que haja conexão com a internet. É aplicado o IoT no processo produtivo, através dele informações como produtividade, ritmo e paradas são extraídas dos equipamentos e/ou linhas e enviadas para nuvem. A partir disso, são gerados automaticamente dentro do sistema os principais indicadores de eficiência da máquina, a exemplo de OEE, produção por hora, tempo de ciclo, tempo de parada, entre outras medidas substanciais para a boa gestão da fábrica.

Figura 4 - Coletor IoT LiveMES operando em uma máquina



Fonte: LiveMES

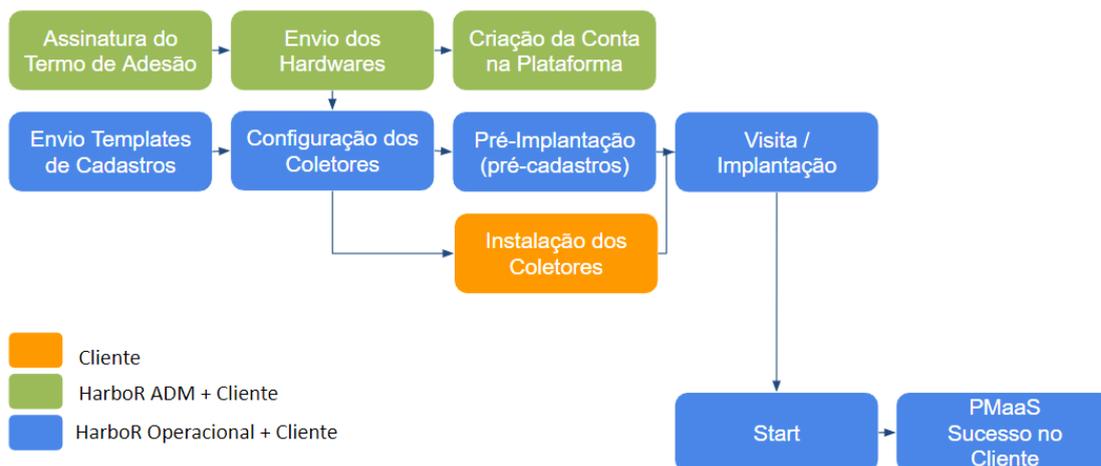
Como modelo de negócio, o MES da HarboR opera por Software como um Serviço, no qual os clientes pagam uma assinatura mensal, sem política de cancelamento. Ao contrário de empresas concorrentes que operam *On Premises* (por licença) e oferecem uma aquisição vitalícia, no formato SaaS toda a responsabilidade de suporte, atualizações e manutenção ficam sob o provedor de serviço e os custos destes estão inclusos no plano de armazenamento contratado. Além disso, o LiveMES dispensa investimentos extras com a infraestrutura de TI subjacente, como hardwares específicos, banco de dados ou times especializados. Contanto que esteja conectado à nuvem, a própria estrutura da empresa pode ser aproveitada, e qualquer rede de wifi ou marca de coletor utilizada, diferente de softwares MES que funcionam por servidor local. Esses fatores contribuem para que um baixo investimento inicial seja feito na contratação do LiveMES.

Outra característica da Indústria 4.0 presente no LiveMES é a integração de sistemas, cujo objetivo é conectar as áreas e sistemas da cadeia produtiva da empresa e fazer com que a informação transite por todos os segmentos dentro dela. O sistema desenvolvido pela HarboR possui APIs públicas e documentadas que permitem sua integração com qualquer sistema ERP. Isso confere ao cliente uma flexibilidade e autonomia para manter com seu time interno a integração funcionando e facilita uma conexão de todos os elos envolvidos no processo em prol de uma execução eficiente.

Por fim, o LiveMES conta com uma equipe de suporte denominada PMaaS, um serviço incluso na mensalidade que fornece suporte e recursos de gerenciamento de projetos,

com foco na experiência do cliente. O PMaaS é responsável inicialmente pela implantação do sistema, geralmente concluída em até um mês, podendo ser realizada totalmente a distância. O processo é detalhado em dez passos, conforme o fluxograma a seguir.

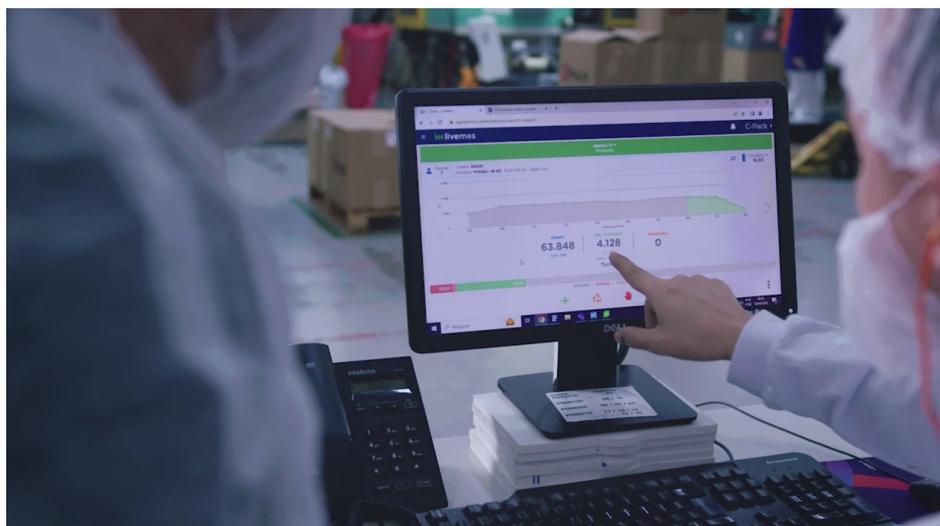
Figura 5 - Fluxo do Implantação do LiveMES



Fonte: elaborado pela equipe de PMaaS do LiveMES

Além disso, o PMaaS realiza o treinamento dos operadores e estabelece metas de produção junto com a gerência. Depois de concluído o período de instalação, a equipe realiza o suporte diário com o cliente, abrangendo desde a resolução de problemas até revisão de metas estabelecidas.

Figura 6 - Acompanhamento de dados pelo LiveMES



Fonte: LiveMES

4.2 PORTZ DOCES

Por questões de confidencialidade e proteção de dados, o nome verdadeiro da indústria selecionada como estudo de caso e informações que pudessem levar à sua identificação foram omitidos. Neste trabalho, ela será referenciada como Portz Doces.

O caso trata-se de um fabricante de doces com um portfólio abrangente de mais de 250 itens, incluindo balas de goma, pastilhas, regaliz, chicletes, balas de gelatina, marshmallows e refrescos em pó. A marca, 100% nacional, possui duas unidades industriais - uma no Sul e outra no Nordeste - atendendo todo o mercado brasileiro e exportando para mais de 80 países.

No ano de 2022, a Portz Doces registrou um faturamento de 580 milhões de reais, sendo que 30% desse montante resultaram de exportações. Além disso, as duas unidades industriais juntas empregam mais de 1600 funcionários.

A escolha da Portz Doces se deu devido à sua relevância no mercado de alimentos e à disponibilidade de informações, bem como ao acesso aos principais gestores da organização. Tanto a matriz quanto a filial integram a carteira de clientes da HarboR e contam com sistema de monitoramento desde 2018. O enfoque deste estudo estará na unidade Sul, sob a gestão da Especialista em Excelência Operacional, Franciele Portz, que desempenhou um papel crucial e forneceu toda a assessoria necessária para esta pesquisa.

4.3 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BALA DE GOMA

Com 12 bilhões de reais ao ano gerados pelo mercado de doces, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de balas, cofnfeitos e caramelos (Euromonitor International, 2018). Tendo em vista a grande produção nacional, as balas assumem grande importância na indústria alimentícia.

Conforme a Legislação Brasileira, a bala de goma é o composto preparado à base de açúcar, água, gomas naturais e aromatizantes (ANVISA, 2005) e, no Brasil, as balas de goma são fabricadas majoritariamente com amidos. O processo tradicional de fabricação desse produto envolve as seguintes etapas: dissolução de ingredientes e cozimento, temperagem, moldagem ou pingagem, resfriamento e, por fim, embalagem.

A produção das balas na Portz Doces se inicia pelo aquecimento de água e açúcar em tanques acoplados com agitadores que garantem a homogeneidade da massa. Essa primeira mistura, contida em tanques com capacidade de até uma tonelada, é passada para tanques

intermediários, com capacidade de 200kg, assim que atinge 74°Bx . Nesses tanques, amido e outros espessantes são adicionados para assegurar as propriedades do gel.

Posteriormente, em outros tanques, a goma é enriquecida com corantes e aromatizantes que conferem a cor e o odor característicos do produto final. A transferência de um tanque para outro ocorre por meio de tubos e válvulas virtualmente monitoradas, que abrem e fecham quando a receita atinge as condições ideais de cada etapa.

Assim que concluída, a goma parte para o sistema de pingamento, no qual máquinas com bicos, chamadas de dosadoras (também conhecidas popularmente como pingadeiras), depositam a massa em bandejas de acrílico, distribuídas em linha, com um número de cavidades que pode chegar até trezentos por forma. Antes de receberem a massa, essas bandejas são revestidas por uma dose previamente pesada de amido, e o excesso dele é removido por uma régua até que as formas fiquem niveladas.

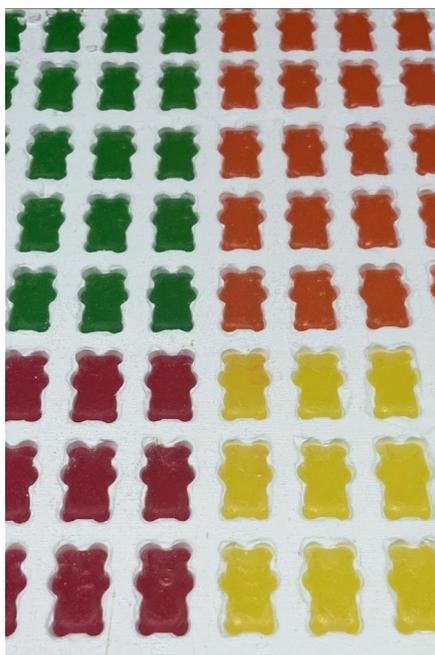
As cavidades da bandeja são individualmente carimbadas, determinando assim o formato final da bala. As imagens a seguir ilustram uma forma com cavidades circulares e outra com o formato de ursinhos, mas as possibilidades de formatos são inúmeras, incluindo cubos e minhocas.

Figura 7 - Forma pingada com goma em formato circular



Fonte: Portz Doces

Figura 8 - Forma pingada com goma em formato de ursinho



Fonte: Portz Doces

Em função do alto número de setups necessários para mudança de molde, as dosadoras perdem muito tempo de hora-máquina disponível e, por isso, representam um grande gargalo para a indústria. Cada minuto destinado a esse processo é um minuto de máquina ligada sem produção.

Figura 9 - Dosadora depositando goma branca em forma



Fonte: Portz Doces

Após o processo de pingamento, ocorre o resfriamento da goma. As bandejas preenchidas com o conteúdo são empilhadas em uma estufa até que as balas atinjam a umidade e a textura adequadas. Nesse momento também acontece o controle de qualidade, separando as bandejas conformes das não conformes.

As bandejas conforme são viradas, e as balas despejadas em uma esteira, onde passam por um jato de vapor e, em seguida, são açucaradas ou oleadas, de acordo com cada SKU, representando assim a etapa final de fabricação da bala de goma. Antes de serem empacotadas, as balas são pesadas para garantir proporções uniformes em cada embalagem.

As bandejas não conformes podem receber dois destinos, refugo ou retrabalho, as quais são determinadas pelo motivo de não conformidade. Se uma bandeja sofrer contaminação, por exemplo, a receita será inteiramente descartada. No entanto, se houver apenas um problema de formato, como na imagem abaixo, o material será reaproveitado. Isso é possível pelo princípio termo reversível, que, em altas temperaturas, faz o gel voltar para a forma líquida e, em baixas, para a forma de gel.

Figura 10 - Bandeja de goma não conforme



Fonte: Portz Doces

5. METODOLOGIA

Este trabalho configura-se como um estudo de caso realizado em uma indústria de alimentos no Sul do Brasil. A abordagem de pesquisa adotada concentra-se na análise de um cenário específico, possibilitando uma visão aprofundada de um fenômeno em seu ambiente natural. Com o foco em um único cenário, é possível retirar *insights* valiosos e uma compreensão completa do problema em estudo. O objetivo principal de uma pesquisa é auxiliar e compreender o desafio que o investigador tem para solucionar. Dessa forma, as pesquisas são utilizadas para definir problemas rigorosos e, com base nisso, permitem estabelecer um conjunto de ações em prol da solução (Malhotra, N., Hall, John, Shaw, 2006).

Neste trabalho, o caso específico é o desenvolvimento de uma metodologia para cálculo de ROI da utilização de um software MES em uma produtora brasileira de doces. Para fins de simplificação de estudo, foi optado por analisar um tipo de máquina da planta Sul da empresa, com base na disponibilidade de dados e na relevância do equipamento para a produção. O resultado dessa análise culminou na seleção de dosadoras (bicos que injetam a goma uniformemente em formas) como foco. Essa decisão foi tomada tanto por representarem um gargalo no processo produtivo da goma como por fornecerem dados confiáveis de disponibilidade, performance e qualidade (pilares do OEE) no período especificado.

A investigação foi realizada por meio de uma abordagem quantitativa, que envolveu a coleta e análise de dados quantitativos. A primeira etapa do processo metodológico consistiu no levantamento bibliográfico, utilizando as principais plataformas de busca, como Google Acadêmico, Scopus e Science Direct, para compreender os conceitos em torno do sistema MES e de indicadores financeiros.

Em seguida, para a coleta de dados, foram realizadas entrevistas por vídeo chamada com a Especialista em Excelência Operacional, Franciele Portz, da planta da indústria de alimentos. Essas entrevistas foram estruturadas a fim de fornecer informações mais detalhadas sobre o processo de fabricação de goma, a utilização do MES na fábrica e os desafios relacionados ao cenário. Além das entrevistas, documentos internos da Portz Doces, como relatórios financeiros, registros relacionados e dados de custos, foram analisados para corroborar as informações obtidas nas entrevistas e fornecer evidências objetivas para o cálculo de ROI no setor.

Todos os dados utilizados nessa pesquisa foram obtidos com o consentimento de ambas as partes, sendo elas a desenvolvedora do MES, a HarboR Informática Industrial, e a indústria selecionada como estudo de caso. As informações operacionais da produção foram obtidas através da base de dados do próprio LiveMES, enquanto o restante das informações, especialmente as financeiras, foram disponibilizadas pelas empresas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CENÁRIO ATUAL

Atualmente, a Portz Doces possui mais de 95 centros de trabalho rodando com o LiveMES em suas duas plantas. Entretanto, para o estudo de ROI, escolhemos focar em uma dosadora das três existentes na planta Sul. Na empresa, as dosadoras são chamadas de pingadeiras e, por isso, recebem o código de PI. Essa máquina, denominada PI002, se encontra cadastrada no LiveMES desde janeiro de 2023 e por ela passam cerca de 200 variedades de produtos. Todos os dados após o cadastro foram retirados da base do LiveMES, enquanto os dados anteriores a isso foram extraídos do ERP pela controladoria da Portz Doces. Vale ressaltar que todos os produtos que passaram em janeiro por essa máquina são os mesmos que passaram em outubro, e, para fins de cálculo, foi considerado que a demanda ou volume de produção se manteve o mesmo.

A escolha do período para comparação de cenários financeiros, como no Retorno sobre Investimento, depende muito do contexto específico e do tipo de investimento ou projeto que está sendo avaliado. Neste trabalho, optou-se por comparar o OEE do último mês antes da instalação do LiveMES, janeiro de 2023, e o mês mais atual, outubro. Esse período se aproxima de um ano, que representa um ciclo de negócios completo para muitas indústrias. Isso permite, capturar variações sazonais e tendências de mercado, facilitando comparações padronizadas.

6.2 DADOS OPERACIONAIS

Com o auxílio da equipe HarboR, foram retirados de dentro da base LiveMES da Portz Doces os dados de OEE da dosadora 002. Para confirmação de dados, estes foram revisados e cruzados com os dados internos da controladoria da empresa, expressos abaixo.

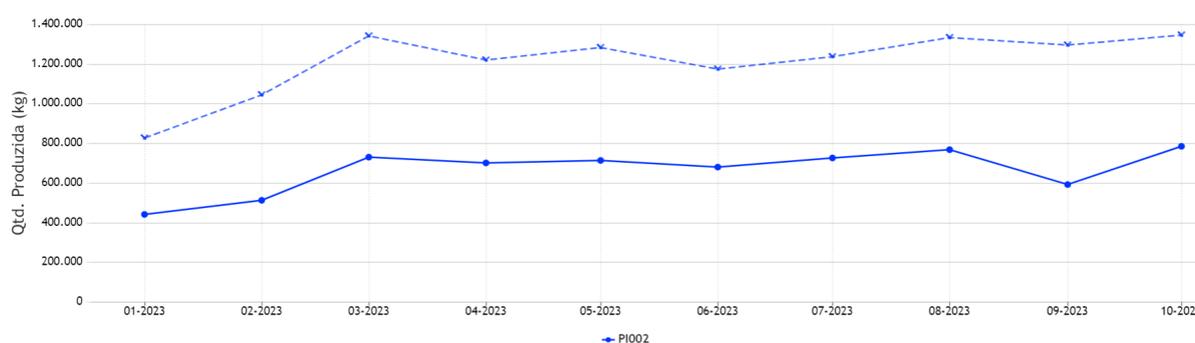
Tabela 2 - OEE da dosadora 002 em Janeiro e Outubro de 2023

	Período	Especificação	OEE	Disponibilidade	Performance	Qualidade
PI002	Jan/2023	Sem LiveMES	49%	50%	100%	97%
	Out/2023	Com LiveMES	57%	65%	89%	99%

Fonte: elaborado pelo autor

A análise revela um aumento de 8% no OEE da dosadora 002 ao compararmos o último mês antes da instalação do LiveMES com outubro de 2023, quando o LiveMES já estava operando. Ao desdobrar o OEE, podemos verificar que a disponibilidade da máquina aumentou 15% nesse período, indicando que o número de paradas não planejadas foi reduzido e a máquina esteve mais tempo produzindo. Além disso, a qualidade melhorou 2%, impactado por um menor desperdício de matéria prima ou redução de retrabalho. Já na performance observa-se uma diminuição significativa entre janeiro e outubro. Conforme a definição desse pilar, esse resultado diz que a relação entre a capacidade real e a nominal reduziu, ou seja, a máquina produziu menos do que poderia. Entretanto, o gráfico abaixo, retirado do LiveMES, retrata que, durante o período analisado, a quantidade produzida total (absoluta) da dosadora 002 aumentou e, apesar da performance diminuir, a máquina apresentou em outubro um dos melhores picos de produtividade.

Figura 11 - Capacidade nominal versus real da dosadora 002



Fonte: Base de dados LiveMES

A afirmação acima pode ser comprovada pela tabela seguinte que ilustra o aumento de disponibilidade na redução de paradas planejadas, o incremento da capacidade nominal na maior produtividade da dosadora 002 e a melhora na qualidade da produção na redução de massa (em quilogramas) descartada.

Tabela 3 - Dados de paradas, produção e refugo da dosadora 002

Pilar do OEE	Dado analisado	Medida	Jan/2023	Out/2023	Ganho
Disponibilidade	Paradas não planejadas	horas	248,51	192	56,51
Performance	Produção	kg	440.815,91	784.250,57	343434,66
Qualidade	Refugo	kg	8699,53	6625,4	2074,13

Fonte: elaborado pelo autor

É importante ressaltar que o foco principal é o aumento global do OEE e que os pilares desse indicador conversam entre si, ou seja, se a disponibilidade e a performance aumentarem mas a qualidade reduzir a ponto do OEE decrescer, o cenário é negativo. Por outro lado, se ações que levam a uma maior disponibilidade também levam a uma menor performance, contanto que o OEE esteja crescente o cenário é positivo.

6.3 FUNDAMENTAÇÃO PARA O CÁLCULO DE ROI

A metodologia para calcular o retorno sobre o investimento de um software MES em uma máquina considerou os possíveis tipos de ganho, como redução de custo, aumento de receita e privação de custo futuro. Definiram-se benefícios tangíveis para cada pilar do OEE. Para a disponibilidade, foram considerados o tempo de paradas não planejadas e o valor associado a uma hora-máquina. No caso da qualidade, levantou-se o custo de produção dos produtos refugados, mesmo considerando uma taxa significativa de retrabalho (onde o custo do material seria descontado da perda), mas, por razões de disponibilidade de dados, foi considerado 100% de descarte.

Para a performance, considerou-se o lucro gerado com o aumento de produção, assumindo que a demanda se manteve a mesma. A controladoria informou um lucro mínimo de 15% sobre cada SKU, e essa taxa foi aplicada ao custo de produção. A tabela abaixo ilustra melhor o cenário, e todos os dados e valores apresentados foram fornecidos pela Portz Doces.

Tabela 4 - Custos financeiros de disponibilidade, performance e qualidade da dosadora 002

Ganho	Descrição	Custos envolvidos	Valor
Hora máquina	Custo de uma hora de máquina ligada operando ou não	Energia elétrica, manutenção e consumíveis, mão de obra do operador	R\$1.500,00/h
Lucro de produção	Lucro médio de todos os produtos que passam pela dosadora 002	Receita líquida	R\$0,56/kg
Custo de produção	Custo médio de produção de todos os produtos que passam pela dosadora 002	Matéria prima, mão de obra direta e indireta, gastos gerais diretos e indiretos, depreciação, manutenção	R\$3,70/kg

Fonte: elaborado pelo autor

Para o investimento total, considerou a mensalidade do serviço LiveMES adicionada ao aluguel do coletor IoT para cada máquina na Portz Doces.

Tabela 5 - Custo por máquina da utilização do LiveMES pela Portz Doces

Investimento por máquina			
Custos recorrentes	Aluguel do Coletor IoT	Mensalidade LiveMES	Custo mensal por máquina
Valor em R\$/mês	87,3	138,94	226,24

Fonte: elaborada pelo autor

Esse valor não é fixo para todos os clientes, pois leva em conta dois fatores: o primeiro é o número de máquinas implantadas com LiveMES, as mensalidades começam em um número teto e reduzem com o aumento de centros de controle. O segundo é a utilização de infraestrutura, a empresa pode utilizar o próprio hardware se tiver ou optar pelo aluguel ou compra de coletores.

6.4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Antes de entender o resultado, é importante lembrar que a prioridade deste estudo foi em como desenvolver o raciocínio de ROI e obter um valor numérico que valide (ou não) a utilização de um software MES com base nos três pilares do OEE - disponibilidade, performance e qualidade - independente do resultado ser positivo ou negativo. Entretanto, confiava-se que a eficiência operacional e os benefícios explícitos propostos pelo sistema trouxessem, como consequência, um retorno positivo sobre o investimento, conforme comprovou o valor encontrado.

A imagem a seguir desdobra os ganhos e gastos envolvidos na implementação do LiveMES e como foram aplicados para obter o resultado de ROI.

Figura 12 - Desdobramento da metodologia de ROI desenvolvida

Resultado do ROI

ROI =	$\frac{\text{Aumento de receita + redução de custo}}{\text{Investimento total}}$
ROI =	$\frac{284762,7}{2262,4}$
ROI =	125,9

Legenda
 (--) redução de custo
 (+) aumento de receita

Lucro adicional

Critério	Ganho	Valor associado	Total
(--) Paradas	56,51 horas	R\$1500,00/h	84765,0
(+) Produção	343434,66kg	R\$0,56/kg	192323,4
(--) Refugo	2074,13kg	R\$3,7/kg	7674,3
Lucro adicional total			284762,7

Investimento

Máquina	Período de utilização	Custo mensal/ máquina	Total
Dosadora	10 meses	R\$226,24	2262,4
Investimento total			2262,4

Fonte: elaborado pelo autor

O dado exposto pode ser resumido na seguinte afirmativa: para cada real investido no software LiveMES na máquina dosadora, houve um retorno de R\$125,9 em receita entre janeiro e outubro. Esse número é extremamente positivo e foi muito apreciado pelos gestores envolvidos.

Ademais, após uma comparação aprofundada dos dados operacionais e financeiros de todo o chão fabril da Portz Doces antes da instalação do LiveMES e após dez meses de uso, a análise revelou que a adoção do sistema proporcionou melhorias tangíveis e intangíveis na eficiência produtiva. Com base nos valores apresentados de OEE da dosadora 002, houve uma redução significativa no tempo de inatividade das máquinas, um forte indicador do aproveitamento de recursos. Também ocorreu um aumento na produtividade, possibilitado, principalmente, pela maior disponibilidade de máquina e gerando um impacto direto no faturamento. A diminuição do desperdício de matéria prima, evidenciada pelo dado de qualidade do OEE, também implica em uma redução de retrabalho. Todos esses fatores, direta ou indiretamente, foram critérios utilizados dentro da base de cálculo do ROI criada neste trabalho e contribuíram para o resultado positivo na máquina selecionada.

Além dos benefícios quantitativos, a Portz Doces ressaltou os principais ganhos intangíveis no ambiente de trabalho. O LiveMES, ao fornecer informações em tempo real de performance individual dos operadores, aliado a ações de gamificação realizadas pelos

gestores, elevou a competitividade saudável entre a classe operária de forma que sistemas de recompensas e reconhecimento passaram a ser grandes impulsionadores da melhoria contínua e do alcance de metas. A Portz Doces revelou um engajamento surpreendente da equipe com tais ações e uma crescente cultura de proatividade.

A empresa também pontuou que a transparência e a precisão dos dados fornecidos pelo LiveMES melhoraram a comunicação e a coordenação entre os departamentos da indústria. Isso não apenas facilitou a tomada de decisão baseada em dados, mas permitiu que as equipes trabalhassem juntas de maneira mais eficaz para otimizar processos e fortalecer o espírito de equipe.

Embora a instalação de um sistema MES seja um passo importante na revolução industrial, ela sozinha não garante automaticamente a melhoria dos processos. As empresas, ao adotarem tecnologias da Indústria 4.0, tornam-se aptas a monitorar as operações no ambiente fabril com confiabilidade e agilidade. Contudo, é crucial que uma análise contínua seja feita e, com base nela, planos de melhoria sejam constantemente traçados e executados estabelecer correlações entre dados operacionais e financeiros, e entender profundamente esses dados para extrair insights valiosos. Essa compreensão aprofundada permite engajar as equipes em esforços de melhoria contínua, levando a operações de alta qualidade, resultados positivos e um negócio sustentável.

7. DESAFIOS E LIMITAÇÕES

Para além das conclusões retiradas, no decorrer do estudo foram encontradas tanto limitações específicas da própria Portz Doces, como desafios gerais da Indústria 4.0 e da implementação de um MES.

A primeira - e que impacta em muitas outras - foi o fato da empresa utilizar o LiveMES ainda há relativamente pouco tempo, de modo que seu aproveitamento pela empresa ainda carece de muito aprimoramento. No Brasil, a transição das empresas para a Indústria 4.0 caracteriza um processo lento e pouco otimista. Segundo uma pesquisa realizada pela CNI em 2016, 52% das empresas não utilizavam nenhum processo digital dentre as dez opções de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 apresentados. Isso se deve a uma combinação de fatores econômicos, estruturais e culturais (WESTERMAN, BONNET, MCAFEE, 2014). Economicamente, o custo de implementação de tecnologias avançadas e automações representa um impeditivo significativo, especialmente para pequenas e médias empresas com orçamentos limitados. Estruturalmente, há uma carência de infraestrutura tecnológica e de mão de obra qualificada, o que dificulta a adoção e a integração efetiva dessas tecnologias nos processos de produção existentes. Além disso, muitas empresas ainda não se convenceram da necessidade de mudança e da mentalidade de inovação contínua exigida pela Indústria 4.0 (SCHWAB, 2016). Fatores como a instabilidade econômica, políticas de incentivo inconsistente à inovação e a preocupação com a segurança cibernética e a proteção de dados também contribuem para retardar o ritmo de adoção dessas tecnologias avançadas no país.

Entretanto, mesmo após a instalação das tecnologias necessárias, as empresas ainda encontram dificuldades para se integrar plenamente à Indústria 4.0 (GILCHRIST, 2016). A maior e mais recorrente é a ausência de uma cultura de dados entre os operadores. Na utilização de um software MES, se os operadores não estão adequadamente treinados ou não compreendem a importância e o uso dos dados coletados, podem resistir à adoção do sistema ou falhar em utilizá-lo de maneira efetiva. Isso resulta em apontamentos incorretos ou incompletos, comprometendo a integridade das informações e, conseqüentemente, a tomada de decisão baseada em dados (MEYER, FUCHS, THIEL, 2009). Se não há informações consistentes cadastrados no sistema, logo, não haverá um ROI verossímil. Um fator que agrava esse cenário ainda é a alta taxa de rotatividade nas indústrias, a perda de colaboradores experientes pode atrasar operações e diminuir a eficiência de processos automatizados e

digitais, além de exigir investimentos contínuos em treinamento e capacitação para novos colaboradores.

A alta gerência também precisa estar totalmente comprometida com a mudança e, não apenas comunicar a importância e os benefícios do MES, mas utilizar e cobrar constantemente o uso dele, o que comumente não ocorre. É importante ressaltar que o MES sozinho não é capaz de nenhuma melhoria, são os dados e a confiabilidade deles que fornecem aos gestores desenvolverem planos de ação à produção.

Ademais, outra limitação que restringe a eficiência de um MES e o desenvolvimento de um ROI atrelado a isso é a integração inadequada com sistemas existentes, como observado na Portz Doces. As fábricas operam com uma variedade de sistemas para gerenciamento de inventário, planejamento de recursos empresariais (ERP) e controle de processos. Se o MES não for integrado de forma eficaz com esses sistemas, pode ocorrer uma lacuna na comunicação de dados, levando a ineficiências e potenciais erros. Uma integração insuficiente pode resultar em uma visão fragmentada das operações, afetar a capacidade de realizar análises precisas e tomar decisões. Para o cálculo de Retorno sobre Investimento, são necessários dados da produção, do financeiro e de compras, quanto mais integrados estiverem esses setores mais fácil será de desenvolver e automatizar esse indicador e mais próximo da realidade será seu resultado.

8. CONCLUSÃO

A implementação de um software MES em uma indústria de alimentos oferece benefícios significativos aos gestores e ao setor, em especial, uma visão clara e integrada da cadeia de produção que otimiza o planejamento, a eficiência produtiva e o aproveitamento de recursos. Entretanto, pouco valem essas melhorias se não impactarem em um ganho financeiro claro e relevante à empresa. O Retorno sobre o Investimento emerge nesse contexto como uma ferramenta vital para a gestão e tomada de decisões relacionadas a investimentos dentro da Indústria 4.0.

Durante a realização do estudo de caso, verificamos ganhos intangíveis na utilização de um MES, como maior fluidez no fluxo operacional do trabalhador, resultante da automatização dos dados, ou redução parcial de folhas de papel, impactada pela digitalização do processo. Ambas melhorias, apesar de relevantes, são difíceis de mensurar e, em função disso, não foram incluídas na metodologia de ROI desenvolvida. Esse trabalho focou nos ganhos tangíveis atrelados ao principal indicador do software MES, o OEE, e relacionou a redução de custo ou ganho de receita aos valores de disponibilidade de máquina, performance e qualidade.

A escolha dessa relação também se embasou na facilidade da obtenção dos dados pelos clientes LiveMES e na manutenção deles. Essa abordagem assegura tanto que os cálculos e análises se concentrem nos elementos mais críticos para a saúde financeira da organização quanto permite que os gestores apliquem o cálculo de ROI de maneira contínua e eficiente, garantindo uma avaliação constante e atualizada do investimento em MES. Como resultado, obtemos uma metodologia simples e capaz de cumprir o objetivo principal deste estudo: justificar a implementação de um software MES em uma indústria de alimentos.

Esperamos que este trabalho possa servir de guia e como um ponto de partida aos atuais e futuros gestores industriais que pretendem se beneficiar da implementação e utilização de um software MES. Apesar do caminho até a Indústria 4.0 ser longo, em especial no setor alimentício que suporta desafios e pressões externas ainda maiores, entender o retorno financeiro que o investimento gera, sem dúvidas, é um ótimo começo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil/>. Acesso em: 11 nov. 2023.

BAUER, W.; SCHLUND, S.; MARRENBACH, D.; GANSCHAR, O. (BITKOM). Industrie 4.0 – volkswirtschaftliches Potenzial. Berlin, 2014.

BBC NEWS BRASIL. Produção de alimentos precisa aumentar 70% até 2050, diz ONU. 12 outubro 2009. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2009/10/091012_fome2_rc. Acesso em: 30 nov. 2023.

CAETANO, A.G.L.S. Sistemas de Supervisão de Chão-de-Fábrica: Uma Contribuição para Implantação em Indústrias de Usinagem. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CHAVAN, S.K.; BHANDARI, A.J.; PAREKH, V.B.; SHAH, H.P.; PATEL, B.N. New Multipetalous Variety G. Ad.1 of *Adenium obesum*. International Journal of Current Microbiology and Applied Science, v. 8, n. 7, 2019.

CHENG, C.; GUELFIRAT, T.; MESSINGER, C.; SCHMITT, J.; SCHNELTE, M.; WEBER, P. Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies. In: European Software Engineering Conference and the ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering, 10., 2015, Bergamo. Proceedings... New York: ACM New York, 2015. p. 1010-1013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Estatísticas. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/>. Acesso em: 30 nov. 2023..

DALL'AGNOL, L. de A. A Inteligência Artificial na Indústria 4.0. 2022.

De Ugarte, B. S.; Artiba, A.; Pellerin, R. Manufacturing execution system - A literature review. Production Planning and Control, v. 20, n. 6, p. 525–539, 2009. <https://doi.org/10.1080/09537280902938613>

Du, P.; Luo, L.; Huang, X.; Su, J. Journal of Colloid and Interface Science upconverting nanoparticles for nanothermometer and optical heater. Journal of Colloid And Interface Science, v. 514, p. 172–181, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.12.027>

FAVARETTO, F. Uma Contribuição ao Processo de Gestão da Produção pelo uso da Coleta Automática de Dados de Chão de Fábrica. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

FRIEDLOB, G.T.; PLEWA JR, F.J. Understanding Return on Investment. John Wiley & Sons, Inc., 1996.

GEISSBAUER, R.; SCHRAUF, S.; KOCH, V.; KUGE, S. Industry 4.0: Opportunities and Challenges of the Industrial Internet. PricewaterhouseCoopers, 2014.

GILCHRIST, Alasdair. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. [S.l.]: Apress, 2016.

HANSEN R. C. Eficiência Global dos Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para aumento dos lucros. Tradução de Altair Flamarion Klippel; Bookman, Porto Alegre, 2006.

Huber, R.; Kolbe, L. The Impact of Business Process Management on Process Performance and Operational Performance. ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS), v. 7, n. 1, art. 3, 2016.

KAGERMANN, H. Chancen von industrie 4.0 nutzen. In: BAUERNHANSL, T.; ten HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSER, B. (Eds.). Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. p. 603-614.

Kletti, J. Manufacturing Execution Systems – MES. Springer, 2007.

KUNDHAVAI, K. R.; Sridevi, S. International Journal of Computer Science and Mobile Computing IoT and Big Data-The Current

LAUDON, K.C.; LAUDON, J.P. Gerenciamento de Sistemas de Informação. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MALHOTRA, N. et al. Marketing research: an applied orientation . Frenchs Forest. Pearson Prentice Hall. Memon, MA, Ting, H., Ramayah, T., Chuah, F., & Cheah, J.,(2017). A review of the methodological misconception and guidelines related to the application of structural equational modeling: A Malaysian scenario. Journal of Applied Structural Equation Modeling, v. 1, n. 1, p. 160-170, 2006.

MEOLA, A. IoT 101: The Essential Guide to the Internet of Things. 2018. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/intelligence/iot-101>. Acesso em: 10 out. 2023.

MEYER, Heiko; FUCHS, Franz; THIEL, Klaus. Manufacturing Execution Systems (MES): Optimal Design, Planning, and Deployment. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2009.

NAKAJIMA, Seiichi. Introduction to TPM: total productive maintenance.(Translation). Productivity Press, Inc., 1988,, p. 129, 1988.

O ESTADO. Mercado de doces no Brasil chega a faturar 12 bilhões de reais por ano. Disponível em: <https://oestadoce.com.br/economia/mercado-de-doces-no-brasil-chega-a-faturar-12-bilhoes-de-reais-por-ano/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

ROMEO, Renato. Vendas B2B. BOD GmbH DE, 2017.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016.

SHIRASUNA, M. MES: Situação presente e expectativa do futuro. *Controle e Automação*, v. 11, n. 143, p. 66-71, 2008.

VANDERLEI, Marcelo Leite. Implantação de controle baseado no sistema de execução da manufatura (MES): análise em empresa de usinagem no setor aeronáutico. 2009.

WESTERMAN, George; BONNET, Didier; MCAFEE, Andrew. *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation*. [S.l.]: Harvard Business Review Press, 2014.

ZANELLA, A.; BUI, N.; CASTELLANI, A.P.; VANGELISTA, L.; ZORZI, M. Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 1, p. 22-32, 2014.