

Análise de Dados com *Business Intelligence* para monitoramento microbiológico na Indústria 4.0: Um estudo de caso simulado no setor Alimentício

Herrison Nascimento de Jesus Barros¹, Cleia Santos Libarino², José Alberto Diaz Amado³

¹Instituto Federal da Bahia - Campus Vitória da Conquista (IFBA)
45030-220 – Vitória da Conquista - BA - Brazil

herrisondiiherry@gmail.com, cleialibarino@ifba.edu.br, jose_diaz@ifba.edu.br

Abstract. This research investigates the use of Business Intelligence (BI) as a tool for continuous improvement in the food industry, within the context of Industry 4.0. Through a simulated case study in a cocoa production facility, the research demonstrates the development of microbiological dashboards using Power BI and Python. These dashboards monitor critical quality indicators, such as fungal contamination and Total Plate Count (TPC). Real-time data analysis provides insights for strategic decision-making, enhancing production processes and ensuring compliance with sanitary standards. The study highlights the role of BI in optimizing and innovating food production processes.

Resumo. Este estudo investiga o uso do Business Intelligence (BI) como ferramenta de suporte à melhoria contínua no setor alimentício, inserido na Indústria 4.0. A pesquisa, por meio de um estudo de caso simulado em uma fábrica de cacau, apresenta o desenvolvimento de dashboards microbiológicos com o Power BI e Python. Esses dashboards permitem monitorar dados essenciais de qualidade, como a contaminação por fungos e TPC (Total Plate Count). A análise de dados em tempo real gera insights para decisões estratégicas, aprimorando os processos produtivos e assegurando o cumprimento de normas sanitárias. O estudo destaca o papel do BI como aliado na otimização e inovação dentro da produção alimentícia.

1. Introdução

A Indústria 4.0 tem impulsionado a adoção de tecnologias digitais para otimizar os processos produtivos [Borowski 2021, Geissdoerfer et al. 2017], e o setor alimentício se beneficia significativamente dessas inovações. O monitoramento microbiológico, fundamental para garantir a segurança e a qualidade dos alimentos [Silva et al. 2019], pode ser otimizado com a aplicação de Business Intelligence (BI). A aplicação de BI para monitoramento microbiológico oferece diversas vantagens em relação aos métodos tradicionais, como a visualização de dados em tempo real e a análise de padrões de contaminação [Al-Shaarani et al. 2023]. Dashboards interativos e relatórios personalizados, como os propostos por [David and Guivant 2020], permitem a visualização e análise de dados complexos de forma clara e intuitiva, facilitando a identificação de tendências, anomalias e a tomada de decisão rápida e eficiente. Através do monitoramento em tempo real, o BI possibilita a detecção precoce de contaminações, permitindo intervenções imediatas para evitar perdas e garantir a qualidade do produto final

[Rodrigues and Costa 2019]. A automação de tarefas, como a geração de alertas e relatórios, também contribui para otimizar o tempo dos profissionais e reduzir a chance de erros humanos.

O objetivo deste estudo é demonstrar como a aplicação de BI pode otimizar o monitoramento microbiológico em uma fábrica de cacau, contribuindo para a garantia da qualidade dos produtos, a eficiência dos processos produtivos e a inovação na cadeia produtiva [Vinodh and Joy 2021]. Espera-se que este estudo contribua para o avanço do conhecimento sobre a aplicação de BI na Indústria 4.0 [Borowski 2021], especialmente no setor alimentício, e incentive a adoção de ferramentas de BI para o monitoramento microbiológico em outros contextos industriais.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre BI, Indústria 4.0 e monitoramento microbiológico no setor alimentício. A seção 3 detalha a metodologia utilizada no estudo de caso simulado, incluindo a descrição do processo de coleta e simulação de dados, a criação do dashboard no Power BI e a integração com Python. A seção 4 apresenta os resultados da simulação, enquanto a seção 5 discute as implicações da solução proposta, incluindo a sua escalabilidade e comparação com outras abordagens. Por fim, a seção 6 conclui o artigo, resumindo as principais contribuições e apontando direções para futuras pesquisas.

2. Referencial Teórico

Indústria 4.0 tem sido marcada pela incorporação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), sistemas ciberfísicos, e análise de grandes volumes de dados. Esses avanços tecnológicos permitiram a criação de fábricas inteligentes, onde dispositivos conectados podem coletar, comunicar e analisar informações em tempo real. A automação de processos e a integração de operações tornaram-se elementos centrais da Indústria 4.0, promovendo maior flexibilidade, eficiência e capacidade de resposta às demandas do mercado [Geissdoerfer et al. 2017]. Esse novo paradigma tecnológico, que integra o mundo físico ao digital, tem transformado a maneira como as indústrias operam, tornando possível a personalização em massa e a tomada de decisões baseada em dados.

No setor alimentício, uma das áreas mais críticas é o controle de qualidade, especialmente no monitoramento microbiológico, que é fundamental para garantir a segurança dos alimentos. O Total Plate Count (TPC) e os níveis de contaminação por fungos, por exemplo, são os principais indicadores usados para avaliar a qualidade microbiológica em alimentos. O monitoramento em tempo real desses dados é essencial para que as indústrias reajam de forma eficaz a potenciais riscos de contaminação e mantenham a conformidade com as regulamentações sanitárias [Silva et al. 2019].

Business Intelligence (BI) refere-se ao conjunto de estratégias, processos e ferramentas utilizadas para coletar, integrar, analisar e apresentar dados que auxiliam na tomada de decisões empresariais. O principal objetivo do BI é transformar grandes volumes de dados brutos em informações acionáveis, que podem ser usadas para otimizar processos e antecipar problemas. Relatórios, gráficos e dashboards interativos são algumas das formas pelas quais as ferramentas de BI tornam os dados acessíveis e compreensíveis [Turban et al. 2010]. No contexto da Indústria 4.0, o BI se destaca como uma ferramenta indispensável para monitorar e ajustar operações em tempo real.

A aplicação de ferramentas de Business Intelligence no controle de qualidade microbiológica se destaca por sua capacidade de consolidar dados de diversas fontes e transformá-los em informações visuais fáceis de interpretar. Ferramentas como o Power BI têm sido amplamente utilizadas por sua interface intuitiva e pela capacidade de se integrar a diferentes sistemas, oferecendo uma visão clara dos principais indicadores de qualidade [Rodrigues and Costa 2019]. O BI permite que as indústrias monitorem continuamente seus processos e identifiquem rapidamente padrões de anomalias que podem impactar a segurança dos alimentos ou a eficiência dos processos produtivos.

Além disso, o uso de linguagens de programação, como Python, na análise de dados oferece uma camada extra de personalização e flexibilidade. Algoritmos ajustados às necessidades específicas da indústria podem agregar mais valor ao processo de tomada de decisões, integrando análises mais complexas e permitindo a automação de várias etapas do monitoramento e controle [Al-Shaarani et al. 2023]. A combinação de BI com técnicas de Machine Learning também pode prever padrões de contaminação e otimizar os processos de maneira proativa, antes que falhas ocorram.

IoT e *Machine Learning* com o advento da Internet das Coisas (IoT), sensores conectados em equipamentos e linhas de produção podem coletar dados em tempo real e enviá-los diretamente para plataformas de BI. Esses dados são então processados e analisados para identificar desvios de qualidade e possíveis falhas. A IoT permite que as fábricas criem sistemas ciberfísicos, onde há uma comunicação constante entre os dispositivos e os sistemas de análise de dados, o que potencializa a tomada de decisões baseadas em dados [Wortmann and Flüchter 2015].

O uso de *Machine Learning* (ML) em conjunto com BI amplia ainda mais a capacidade de análise de dados. Enquanto o BI tradicionalmente se foca em dados históricos, os algoritmos de *Machine Learning* são capazes de analisar grandes volumes de dados em tempo real e identificar padrões que podem não ser visíveis em análises convencionais. Isso permite que as indústrias façam previsões mais precisas sobre falhas de qualidade e otimização de processos. A integração de BI com ML oferece insights mais profundos e recomendações automáticas, que podem ser implementadas em tempo real, melhorando a eficiência e a segurança alimentar [Wortmann and Flüchter 2015].

Estudos anteriores ressaltam a relevância da análise de dados no cotidiano produtivo de indústrias, em especial no setor de alimentos. [David and Guivant 2020] indicam que a adoção de dashboards interativos em instalações industriais pode diminuir substancialmente o tempo de resposta a problemas, além de aprimorar a eficiência operacional. As ferramentas de BI tornam o monitoramento contínuo mais acessível e transparente, reduzindo o tempo necessário para identificar e corrigir falhas que poderiam impactar diretamente a segurança dos alimentos.

Além disso, [Vinodh and Joy 2021] destacam que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no setor alimentício permite não apenas uma melhor gestão de qualidade, mas também a inovação em toda a cadeia produtiva. O uso de BI em combinação com IoT e ML não apenas melhora a eficiência operacional, mas também fornece uma abordagem proativa para a gestão da qualidade, permitindo que as empresas implementem soluções preventivas e se mantenham competitivas em um mercado cada vez mais dinâmico e regulado.

3. Metodologia

Este estudo de caso simulado utiliza dados microbiológicos (TPC e níveis de contaminação por fungos) extraídos de planilhas em cenário de uma fábrica de cacau. A escolha por simular os dados, em vez de utilizar dados reais coletados em tempo real, deve-se à necessidade de preservar a confidencialidade das informações da fábrica e à dificuldade de acesso a sistemas de coleta de dados em tempo real. Para a manipulação e processamento dos dados, foram utilizadas as bibliotecas Pandas e Numpy em Python. A biblioteca Pandas oferece estruturas de dados flexíveis e eficientes para a análise de dados, enquanto a biblioteca Numpy fornece funções matemáticas e ferramentas para trabalhar com arrays multidimensionais.

A simulação foi realizada utilizando ferramentas adequadas para a modificação dos dados, criando *datasets* representativos da produção diária. A seguir temos um pseudocódigo demonstrando como foram realizadas as alterações:

```
1: INÍCIO
2: CARREGAR dados da planilha Excel
3: DEFINIR listas de intervenções mecânicas e operacionais
4: for CADA linha nos dados do
5:   if houver intervenção mecânica then
6:     ESCOLHER aleatoriamente uma intervenção da lista de intervenções
      mecânicas
7:     SUBSTITUIR a intervenção original pela intervenção escolhida
8:   end if
9:   if houver intervenção operacional then
10:    ESCOLHER aleatoriamente uma intervenção da lista de intervenções opera-
      cionais
11:    SUBSTITUIR a intervenção original pela intervenção escolhida
12:  end if
13:  if valor de TPC  $\geq$  5000 then
14:    GERAR novo valor de TPC entre 5001 e 6000
15:  else
16:    GERAR novo valor de TPC entre 100 e 5000
17:  end if
18:  if valor de Fungos > 100 then
19:    GERAR novo valor de Fungos entre 101 e 150
20:  else
21:    GERAR novo valor de Fungos entre 1 e 100
22:  end if
23: end for
24: SALVAR dados modificados em um novo arquivo Excel
25: FIM
```

O pseudocódigo abordado ilustra o processo de simulação dos dados, desde a extração dos dados da planilha Excel até a exportação para o Power BI, gerando assim, valores aleatórios para TPC e contaminação por fungos, utilizando distribuições uniformes dentro de faixas pré-definidas. As faixas de valores foram determinadas com base em dados históricos de fábrica e conhecimento especialista, buscando manter a variabilidade.

dade esperada em um processo produtivo real.

3.1. Desenvolvimento dos Dashboards e Uso de DAX

A visualização dos dados foi realizada com o Power BI, onde *dashboards* foram desenvolvidos para monitorar em tempo real os principais indicadores microbiológicos. O uso de DAX (*Data Analysis Expressions*) foi essencial para criar métricas e cálculos dinâmicos que enriqueceram a análise dos dados. DAX permitiu a criação de expressões personalizadas, similares a operações comuns em SQL, como agregações e filtragem de dados. Para este estudo, foram utilizadas funções que possibilitaram a manipulação dos dados diretamente nos relatórios, sem a necessidade de consultas externas a um banco de dados.

Table 1. Funções DAX Utilizadas

| Função DAX | Descrição |
|----------------------|--|
| IF | Verifica uma condição e retorna um valor se verdadeiro e outro valor se falso. |
| MAX | Retorna o valor máximo em uma coluna. |
| VAR | Declara uma variável temporária para ser utilizada em expressões complexas. |
| RETURN | Define o valor a ser retornado por uma expressão DAX após a declaração de variáveis com VAR. |
| SELECTEDVALUE | Retorna o valor selecionado em um contexto de filtro ou um valor alternativo especificado. |
| FORMAT | Formata um valor de acordo com uma cadeia de formato especificada. |
| CALCULATE | Avalia uma expressão em um contexto modificado pelos filtros especificados. |
| COUNTROWS | Conta o número de linhas em uma tabela. |
| FILTER | Retorna uma tabela filtrada de acordo com uma expressão booleana. |
| ALLEXCEPT | Remove todos os filtros em uma tabela, exceto os filtros especificados. |
| DIVIDE | Divide dois números e retorna o resultado. Aceita um valor alternativo para ser retornado em caso de divisão por zero. |

3.2. Criação de Visualizações

O *dashboard* foi projetado para integrar diversas visualizações que permitem o acompanhamento completo das condições de produção e dos níveis de contaminação. Ele é dividido em seções que incluem:

- **Histórico de contaminações:** Este gráfico de linha apresenta uma visão temporal das contaminações ocorridas ao longo dos meses. A linha do tempo permite que os operadores identifiquem rapidamente os períodos de maior criticidade e avaliem a eficácia das intervenções corretivas aplicadas.
- **Total de contaminações por linha de produção:** Os gráficos de barras segmentam as contaminações por linha de produção (Linha X e Linha Y), proporcionando uma análise comparativa entre as linhas. A visualização destaca rapidamente qual linha está mais sujeita a incidentes de contaminação, permitindo ajustes operacionais direcionados.
- **Percentual de retrabalho por tipo de embalagem:** Com o uso de gráficos de pizza, o *dashboard* mostra a distribuição dos retrabalhos realizados, categorizados pelo tipo de embalagem (50kg ou 1000kg). Esse *insight* ajuda a identificar se determinadas configurações de embalagem contribuem para maior ocorrência de retrabalhos.

- **Evolução temporal das contaminações:** Gráficos de linha que ilustra a evolução das contaminações ao longo dos meses, destacando os picos e as variações sazonais no processo de produção.

4. Resultados

Nesta seção podemos observar a análise dos gráficos gerados permitiu identificar alguns pontos críticos no processo produtivo.

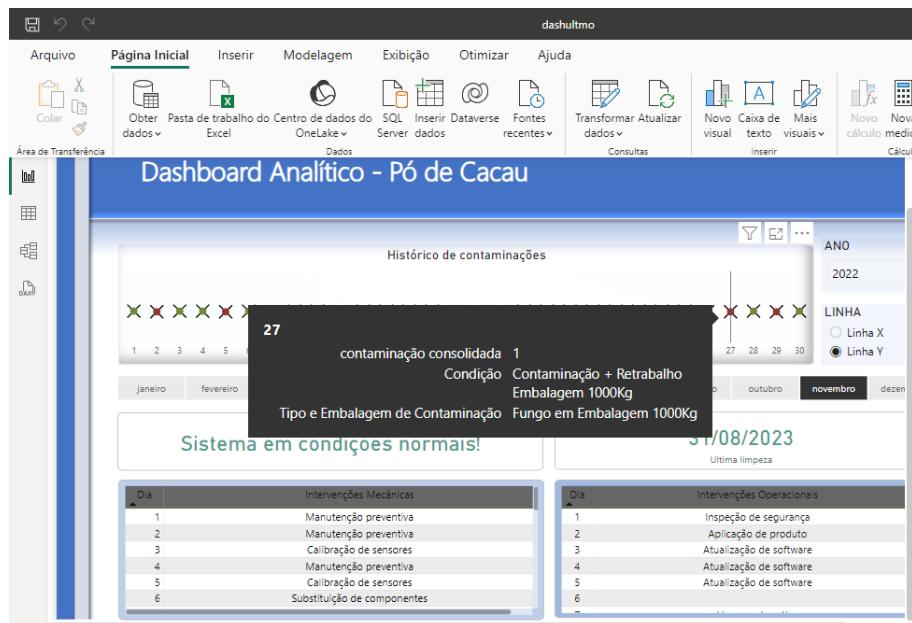


Figure 1. Dashboard inicial

De acordo com a Figura 1, o *dashboard* foi desenhado para fornecer uma visão completa das condições de produção e contaminação, integrando informações sobre o histórico de contaminação e intervenções mecânicas ou operacionais. O sistema destaca automaticamente anomalias, gerando alertas para possíveis intervenções de limpeza quando necessário, e acompanha a data da última ação corretiva realizada. Além disso, permite segmentações por linha de produção e períodos específicos, o que facilita o monitoramento detalhado das operações ao longo do tempo.

Como apresentado na Figura 2, os gráficos interativos revelam padrões sazonais de contaminação, segmentando os incidentes por mês e linha de produção. Essa visualização dinâmica facilita a identificação de tendências, como períodos críticos de maior contaminação, permitindo ajustes estratégicos na gestão da produção e da qualidade. É importante destacar que todos os painéis permitem segmentação de dados para escolher visualizações em um ou mais períodos específicos. Essa interatividade oferece valiosos recursos de percepção para o negócio.

A Figura 3 mostra um cenário onde se permitiu a elaboração de uma tabela informativa detalhando as contaminações gerais por linha durante o período, classificadas como TPC, fungos ou ambos. Além disso, foram realizados cálculos para criar gráficos percentuais relevantes para a área de negócios. Entre os percentuais importantes,

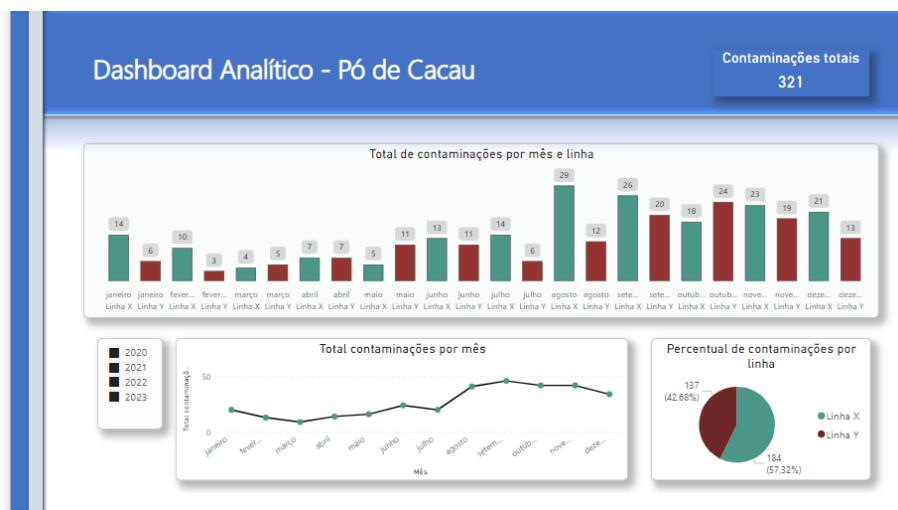


Figure 2. Painel com estatísticas - 1

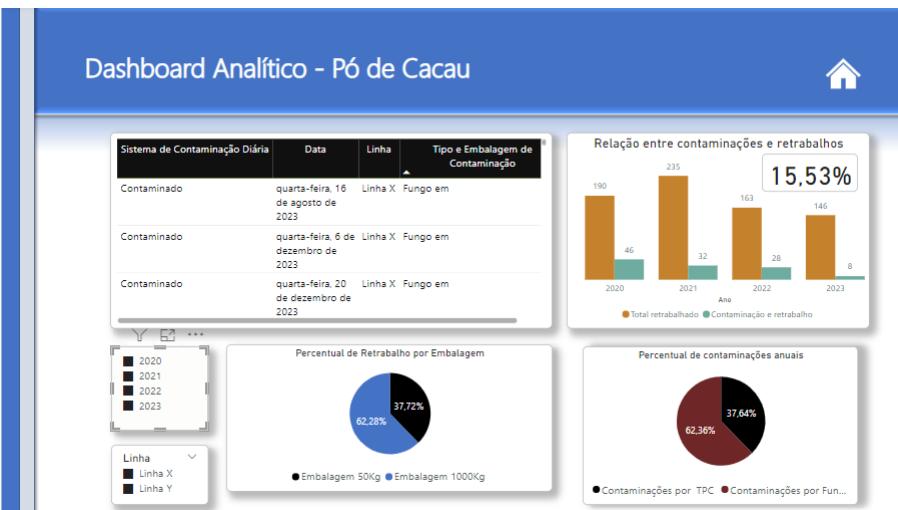


Figure 3. Painel com estatísticas - 2

destacam-se a relação entre contaminações e dias de produção retrabalhada, percentuais de produção retrabalhada por tipo de embalagem e a frequência das diferentes categorias de contaminação. Este painel inclui segmentações tanto por linha de produção quanto por ano, possibilitando ao usuário selecionar o período de análise.

É importante reconhecer que este estudo possui limitações, principalmente pela falta de dados reais de um cenário sem a implementação do BI. A comparação direta entre os cenários com e sem BI permitiria uma avaliação mais precisa do impacto da solução na eficiência da fábrica, utilizando métricas como tempo de resposta a contaminações, frequência de contaminações e custos com medidas corretivas. Apesar dessa limitação, os resultados da simulação demonstram o potencial do BI para otimizar o monitoramento microbiológico em uma fábrica de cacau. A visualização integrada dos dados, a análise de tendências e a detecção de anomalias em tempo real são benefícios que podem contribuir significativamente para a garantia da qualidade dos produtos e a eficiência dos processos produtivos. Acreditamos que a aplicação de BI para monitoramento microbiológico,

como demonstrado neste estudo, pode ser uma ferramenta valiosa para a indústria alimentícia, auxiliando na tomada de decisão e na prevenção de perdas.

5. Discussões

5.1. Escalabilidade da Solução

A solução proposta, embora baseada em dados simulados, apresenta potencial para ser implementada em larga escala em um ambiente industrial real. No entanto, a escalabilidade da solução exige considerações sobre a capacidade de processamento de dados, a resposta em tempo real e as limitações do Power BI para lidar com grandes volumes de dados. Em um cenário real, com coleta de dados em tempo real de múltiplos sensores, o volume de dados gerado pode ser significativamente maior. Ferramentas como MQTT ou OPC-UA podem ser utilizadas para a comunicação eficiente entre os sensores e o sistema de processamento. Adicionalmente, a utilização de um banco de dados robusto e escalável, como bancos de dados NoSQL (ex: MongoDB, Cassandra), seria de grande importância para armazenar e processar os dados em tempo real.

O Power BI, apesar de ser uma ferramenta poderosa para visualização de dados, pode apresentar limitações em termos de desempenho e capacidade de processamento quando se trata de grandes volumes de dados ou dashboards complexos. Para contornar essas limitações, algumas estratégias podem ser adotadas, como a otimização de dashboards, a agregação de dados e a utilização de ferramentas de BI mais robustas em cenários com extremamente grande volume de dados. A capacidade de processamento de dados e a resposta em tempo real também são fatores críticos a serem considerados. A otimização do código Python, a utilização de processamento distribuído (ex: com Apache Spark) e a escolha de hardware adequado (servidores com maior capacidade de processamento e memória) são medidas que podem garantir o desempenho da solução em um ambiente industrial de grande porte.

5.2. Comparação com outras soluções

A utilização de Business Intelligence (BI) para monitoramento microbiológico no setor alimentício apresenta vantagens em relação a outras abordagens, como sistemas de monitoramento baseados em IoT sem integração com ferramentas de BI. Em abordagens tradicionais, os dados microbiológicos são frequentemente coletados e analisados manualmente, o que pode ser demorado e sujeito a erros. Sistemas de monitoramento baseados em IoT, embora possibilitem a coleta de dados em tempo real, podem apresentar dificuldades na análise e interpretação dos dados, especialmente em plantas industriais complexas com grande volume de informações. A falta de uma ferramenta de BI dificulta a visualização e a extração de *insights* relevantes para a tomada de decisão. A solução proposta neste estudo, que integra a coleta de dados com ferramentas de BI, oferece uma série de benefícios, tais como: visualização integrada dos dados em dashboards interativos; análise e interpretação dos dados com ferramentas de BI que permitem a realização de análises estatísticas e a geração de relatórios personalizados; monitoramento em tempo real com a integração de sistemas de coleta de dados; e automação de tarefas, como a geração de alertas e relatórios. Apesar das vantagens da solução proposta, é importante reconhecer que outras abordagens, como sistemas de monitoramento baseados em IoT com análise de dados avançada, também podem ser eficazes no monitoramento microbiológico. A escolha da melhor solução depende das necessidades específicas de cada

indústria, do volume de dados gerado, da complexidade do processo produtivo e dos recursos disponíveis.

6. Conclusões

Este estudo demonstrou o potencial da aplicação de Business Intelligence (BI) para otimizar o monitoramento microbiológico em uma fábrica de cacau. Através da simulação de dados e da criação de dashboards interativos no Power BI, utilizando expressões DAX para cálculos dinâmicos, foi possível demonstrar como a solução proposta pode auxiliar na visualização de dados, na detecção de anomalias e na tomada de decisão, contribuindo para a garantia da qualidade dos produtos e a eficiência dos processos produtivos. Os dashboards permitiram a visualização clara e intuitiva dos principais indicadores microbiológicos, como o *Total Plate Count* (TPC) e as contaminações por fungos, e a identificação de períodos críticos na produção.

Embora o estudo tenha se baseado em dados simulados e não tenha incluído uma comparação direta com um cenário sem BI, os resultados obtidos são promissores e indicam a necessidade de aprofundar a pesquisa com dados reais. A escalabilidade da solução em um ambiente industrial real exige considerações sobre a capacidade de processamento de dados, a resposta em tempo real e as limitações do Power BI para lidar com grandes volumes de dados, o que pode ser explorado em trabalhos futuros com a integração de tecnologias como IoT e algoritmos de *machine learning*.

Acreditamos que a aplicação de BI para monitoramento microbiológico, como apresentado neste estudo, pode ser uma ferramenta valiosa para a indústria alimentícia, auxiliando na tomada de decisão, na prevenção de perdas e na garantia da segurança dos alimentos, contribuindo para um ambiente produtivo mais seguro, eficiente e sustentável, alinhado aos princípios da Indústria 4.0.

References

- Al-Shaarani, A. Q. A. et al. (2023). Analysis of Airborne Fungal Communities in Industrial Environments. *MDPI Microorganisms*.
- Borowski, P. F. (2021). Industry 4.0 in food processing: Drivers, challenges, and outcomes. *Emerald Insight*.
- David, F. and Guivant, J. (2020). Padrões de identidade e qualidade de alimentos. *Food Technology Journal*.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., and Hultink, E. J. (2017). The circular economy—a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143:757–768.
- Rodrigues, M. and Costa, A. L. (2019). Using business intelligence for continuous improvement in food production. *International Journal of Food Production*.
- Silva, A. L., Souza, J. V., and Carvalho, R. (2019). Quality control of tropical fruit pulp in brazil. *Food Microbiology Journal*.
- Turban, E., Sharda, R., Delen, D., and King, D. (2010). *Business Intelligence: A Managerial Approach*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2nd edition edition.

Vinodh, S. and Joy, D. (2021). Integration of continuous improvement strategies with industry 4.0. *Emerald Insight*.

Wortmann, F. and Flüchter, K. (2015). Internet of things: Technology and value added. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3):221–224.