



Data lake para agregação de dados de produção e ferramentas de visualização na indústria de estampagem

Leonardo Leite Meira dos Santos - 54363

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Informação.

Trabalho orientado por:

Prof. Paulo Alves

Prof. Kécia Marques

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Bragança

2022-2023



Data lake para agregação de dados de produção e ferramentas de visualização na indústria de estampagem

Leonardo Leite Meira dos Santos - 54363

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Informação.

Trabalho orientado por:

Prof. Paulo Alves

Prof. Kécia Marques

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Bragança

2022-2023

Abstract

In this master’s dissertation, the main objective is to develop a system for monitoring industrial sensors, specifically for the stamping industry. The work is motivated by the need for real-time monitoring systems to track machine operation in production, thus enabling data-driven management. The system was implemented using Python on the backend with FastAPI for the API, MongoDB for data storage, and NextJs for the dashboard where the information is displayed.

The results indicate that the system is capable of monitoring, analyzing, and presenting sensor data in real-time, with an alert mechanism that triggers notifications based on predefined parameters. The state of the art was reviewed to better understand emerging techniques and technologies in related areas, such as industrial Internet of Things (IIoT), big data, and real-time data analysis.

The current implementation, although simpler compared to the solutions found in the literature, served as a valid proof of concept and is highly adaptable for future iterations based on feedback from the real production environment. It is concluded that the developed system meets the initial requirements and offers a certain degree of flexibility to adapt to other contexts and make future enhancements.

The application of Artificial Intelligence (AI) for data analysis and predictive maintenance of machines are likely directions for research and development of future work.

Keywords: Industrial Internet of Things (IIoT), Real-time Monitoring, Sensor Data Analytics, Data Lake

Conteúdo

1	Introduction	1
1.1	Framework	1
1.2	Objectives	2
1.3	Document Structure	2
2	State of the art	5
2.1	Data storage and big data	5
2.2	Real-time Monitoring	7
2.3	Data Processing and Analysis	10
2.4	Development Methodology	12
2.5	Conclusion	12
3	Methodology	15
3.1	Requirements Definition	15
3.1.1	Functional Requirements	15
3.1.2	Non-Functional Requirements	19
3.2	Data Collection and Storage Method	21
3.3	Software development process	23
3.3.1	User Stories	23
3.3.2	Task Organization	25
3.3.3	Project Documentation	28
3.3.4	Repository Configuration	29

3.3.5	Periodic meetings	29
3.4	Tecnologias	30
3.4.1	MongoDB	30
3.4.2	Python	31
3.4.3	FastAPI	31
3.4.4	NextJs	32
3.4.5	Docker	32
3.4.6	NGINX	33
4	Arquitetura do sistema	35
4.1	Arquitetura do backend	36
4.1.1	Modulo de Recebimento de dados	37
4.1.2	Modulo de processamento de dados	38
4.1.3	API	39
4.2	Arquitetura do frontend	41
4.3	Containers	42
4.4	Web Server	45
5	Implementação	47
5.1	Implementação do banco de dados	48
5.2	Implementação do modulo de recebimento de dados	49
5.2.1	Conexão e recebimento dos dados	49
5.2.2	Verificação e disponibilização dos dados	56
5.3	Implementação do módulo de processamento de dados	71
5.3.1	Agendamento para execução periódica	71
5.3.2	Identificando a origem dos dados	71
5.3.3	Iniciando a agregação	73
5.4	Implementação da API	82
5.4.1	Inicialização	82
5.4.2	Infraestrutura	85

5.4.3	Arquivos comuns	95
5.4.4	Módulos	100
5.5	Implementação do frontend	109
5.5.1	Paginas do sistema	110
5.5.2	Gerencia dos dados do sistema	116
5.5.3	Acesso externo	121
5.5.4	Construção dos componentes	129
6	Características do Sistema do ponto de vista funcional	133
6.1	Monitoramento em tempo real	133
6.2	Alertas e notificações	135
6.3	Análise estatística de dados históricos	136
6.4	Exibição dos dados referente a paragem das máquinas	138
6.5	Perfil de usuário	139
7	Results and Evaluation	142
7.1	Benefits	142
7.2	Competitive Advantages	143
7.3	Conducting tests and validations	144
8	Conclusão e Trabalhos Futuros	145
8.1	Resumo	145
8.2	Limitações do Sistema	146
8.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	147
8.3.1	Utilização de inteligência artificial para predição	147
8.3.2	Monitoramento e Logs	147
8.3.3	Parâmetros Dinâmicos para Alertas	148
8.3.4	Generalização para Outros Contextos	149
8.3.5	Otimização de Performance	150
8.3.6	Atualizações de Tecnologia	151

8.3.7	Implantação e Feedback na Fábrica	151
-------	---	-----

Lista de Figuras

3.1	Kanban board used to manage the tasks.	26
4.1	System architecture.	35
4.2	Module to receive sensor data.	38
4.3	BoxPlot.	39
4.4	API Organization.	40
4.5	Frontend organization.	42
4.6	How container works.	43
4.7	NGINX workflow.	46
6.1	Dashboard with real time and graph data.	134
6.2	Card with machine data.	134
6.3	General Notifications.	136
6.4	Notification drawer.	137
6.5	Graph example.	138
6.6	Date filter.	139
6.7	Downtime graph.	140
6.8	Profile page.	141

Capítulo 1

Introduction

1.1 Framework

In the contemporary industrial scenario, the constant pursuit of efficiency and innovation has become an essential pillar for the competitiveness and financial sustainability of companies [1]. As technology advances, companies face pressure to remain competitive in the market [2]. In this context, monitoring and optimizing machines in production lines become crucial to ensure effective operation and prevent potential downtime or operational failures.

However, the tradition of industrial practices is often characterized by manual inspections and outdated monitoring systems that fail to provide real-time information or in-depth analysis of machine performance. This technological gap can result in significant losses in terms of production, financial resources, and machine maintenance, considering that investment in technology and monitoring can make companies more financially efficient [3].

In addition, with the increasing integration of IoT systems and the proliferation of advanced sensors, there is an immense amount of data being continuously generated, demanding more efficient processing [4]. However, without the proper infrastructure to store and analyze this data, companies may find themselves overwhelmed, unable to

extract meaningful insights that could inform strategic and operational decisions.

In this market context, a stamping industry company sought to build projects that enable the sensorization of their machines, storage and processing of data, and visualization of this information, in order to become more competitive, efficient, and profitable. These projects were grouped within the "ATTRACT - Digital Innovation Hub for Artificial Intelligence and High-Performance Computing - Project: 101083770 — ATTRACT — DIGITAL-2021-EDIH-01" context, with funding from the "Digital Europe Programme (DIGITAL) - DIGITAL-2021-EDIH-INITIAL-01 — Initial Network of European Digital Innovation Hubs", referred to as the **Attract Project** in this document.

1.2 Objectives

Given the previous framework, the identified need is to develop a robust system that can receive data from sensors that collect real-time data from machines, store them efficiently in a data lake, and present them through a dashboard, transforming the way the company monitors and optimizes its production line, ensuring not only efficiency but also a proactive approach to maintenance and industrial management. This system would not only provide real-time information about the status and performance of the machines, but it would also allow for historical analyses, helping managers and technicians to identify trends and failures, as well as optimize production, minimizing production losses and maximizing financial gains.

1.3 Document Structure

This master's dissertation is organized starting with the Introduction, where the problem and scope are presented. This section contextualizes the need for industrial modernization, highlighting the importance of machine monitoring and optimization in the industry. The relevance of the study is then justified, focusing on the increasing demand for data analysis in the market.

This is followed by the Literature Review, which presents an analysis of works and concepts related to the project. This section encompasses similar works already carried out in the parts of real-time data reception, processing, and alerts.

The Methodology discusses the choice of specific technologies used in the project, detailing the data storage method, and the process adopted for the software development, and also describes the strategies for managing the project activities.

In the chapter on System Architecture, the technical specifics of the proposed system are discussed. From the general system diagram to the way each part of the system is organized, making clear how each part is organized and how the interaction between them occurs.

In the Implementation chapter, the technical aspects of the system are delved into. Here, each component of the database, the API, the data processing module, the data receiving module, and the frontend, are detailed. This chapter aims to show in a practical way how the architecture detailed in the previous chapter was implemented.

In regard to the System Characteristics from a functional point of view, the dissertation has a section that focuses on demonstrating the practical application of the software, showing how each feature works and how user interactions occur.

In Results and Evaluation, the results obtained during the project are presented, highlighting the main achievements and benefits observed in the implementation of the proposed system. The Conclusion and Future Works section summarizes the key points of the project, identifies the limitations of the current system, and suggests possible directions for continuity and future implementations.

Capítulo 2

State of the art

The literature review for the development of this project was carried out by researching projects that were similar to this one in some aspects, such as the receipt, storage, and processing of Internet of Things (IoT) sensor data, and real-time information transmission.

2.1 Data storage and big data

In the context of data storage and big data, the importance of managing and analyzing large data sets has been emphasized in various studies. One of these studies is the work on the FastQ Quality Control (FQC), a software designed to manage information from FASTQ files [5]. Developed in Python and JavaScript, the FQC aggregates data and generates metrics that are displayed on a dashboard. The software is capable of processing single-end or paired data, and can process batch files based on a specified directory.

It is important to note that the software allows customization, users can configure Key Performance Indicator (KPI), charts, and other dashboard elements. The data processing layer of the FQC bears similarities with industrial sensor monitoring systems of this dissertation, mainly in aspects of data access and processing. It operates by accessing a directory, processing the information, and making it available for later use, and also supports the execution of small batch functions.

The dashboard built by the FQC offers a variety of visualizations, including line charts,

bar charts, and heat maps, among others. These visualizations are dynamically generated and can be configured using JavaScript Object Notation (JSON) files [6], providing a flexible and user-friendly interface for data management and analysis.

Another contribution to the field of data storage and big data is the work of Ren et al. [7], **Quality Mining in a Continuous Production Line based on an Improved Genetic Algorithm Fuzzy Support Vector Machine**, which focuses on predicting product quality through a data-driven approach. The Indicadores Chave de Desempenho (KPIs) are identified to serve as highly relevant state variables for product quality. Traditionally, these variables are measured through offline laboratory analyses, which introduces latency into the system.

The AI component of the system is layered, where the lower layer deals with both categorized and uncategorized data to train and test the AI models. A Gaussian distribution is applied in the second layer to process the data, which are then fed into a semi-supervised training layer. The final layer provides the results of the predictions, thus closing the cycle.

Case studies presented in the article demonstrate the implementation of this system in industrial mineral processing processes. Although the method successfully addresses the issue of unmarked records, it requires a high degree of continuity in industrial systems, which is identified as a limitation.

The work of Ren et al. provides insights into the use of data for predictive quality control in industrial environments. The layered AI model and the focus on KPIs are especially relevant for the future development of the system, which can use the analyses carried out over time as training data for the AI.

Still within the scope of data storage and big data, Predictive Maintenance (PdM) becomes a very relevant strategy, both in the context of this project and in semiconductor manufacturing [8], as explained in **Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach**. The article by Susto et al.[8] presents a multiple classifier approach to PdM, aiming to minimize downtime and associated costs. Three main categories for maintenance management are identified: Run to Failure, Preventive

Maintenance, and Predictive Maintenance. The latter is emphasized for its ability to leverage historical data, forecasting algorithms, statistics, and engineering methods.

The paper uses several trained classification modules with different forecasting horizons to offer various performance trade-offs. Two main indicators are identified to reduce total operational costs: the frequency of unexpected breakdowns and the amount of unutilized lifespan. Linear regression is used as a statistical method for forecasting.

The approach is particularly relevant for systems that require real-time data analysis and efficient data storage, such as industrial sensor monitoring systems. It addresses the limitations associated with the lack of continuous data feed in industrial systems and offers a cost-based decision-making system for maintenance management.

Therefore, the work of Susto et al. provides insights into the application of machine learning for predictive maintenance, especially in semiconductor manufacturing. The methodology can be particularly beneficial for industrial environments where minimizing downtime and operational costs are essential, and could be a logical evolution of this project, given the storage of historical data received in the system that can be used for predictive maintenance.

2.2 Real-time Monitoring

In the context of industrial sensor monitoring and real-time data analysis, the paper by Shafi et al. [9] **Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications** is relevant as it offers a comprehensive exploration of precision agriculture techniques, with a particular focus on IoT-based intelligent irrigation systems. These systems face similar challenges to those in industrial environments, such as latency, bandwidth limitations, and intermittent internet connectivity.

Edge computing (fog computing), as discussed in the article, emerges as a cutting-edge solution to these challenges. It aims to save energy and bandwidth, reducing failure rates and delays. This is particularly relevant for real-time data analysis and alert systems in industrial sensor monitoring. The Fog of Everything architecture, introduced in the

article, offers a multi-layered approach that could be adapted for industrial applications aiming to improve service quality and efficiency in data storage. The methodologies and technologies discussed in the article provide ways of system organization for data storage, big data, and sensor monitoring systems.

The article **The Role of Big Data Analytics in Industrial Internet of Things** by Rehman et al. [10] explores the integration of Big Data Analysis (BDA) with Industrial Internet of Things (IIoT), focusing on real-time data analysis, data management and storage, aspects that connect with the aim of the dissertation to develop a robust system for monitoring industrial sensors.

The article's discussion on real-time analysis can guide the development of the Data Reception Module, and the data processing module for historical data analysis in this project. In addition, the article's insights on data management and storage can offer paths to optimize the performance of the MongoDB database if necessary.

Although the article does not specifically discuss alert systems, its categorization of analysis techniques into descriptive, prescriptive, predictive, and preventive procedures can provide a framework for generating alerts based on predefined parameters. Moreover, the article's focus on interoperability and integration in IIoT systems may offer guidelines for the effective design and integration of the various modules in this project, such as the Database, Data Receiving Module, and API.

An important project to highlight in real-time data monitoring is presented in the article **Internet of Things in Vehicle Safety - Obstacle Detection and Alert System** by Umakirthika et al. [11]. This extensively explores the use of Internet of Things (IoT) technologies to enhance vehicle safety. The article introduces an Obstacle Detection and Alert System (ODAS) System designed to identify obstacles on the road and alert drivers in real-time. The system uses embedded algorithms that detect obstacles based on various vehicle parameters, such as speed and steering angle. Once an obstacle is detected, its location is stored locally and sent to a cloud server periodically. The cloud server processes these data, confirms the presence of a real obstacle, and sends this information back to the vehicle's alert system, which provides audible and visual alerts to the driver.

This article’s approach can provide important information for the design and implementation of real-time alert systems in an industrial environment, specifically, the use of IoT for data collection and cloud processing can be adapted to enhance the real-time analysis capabilities of this system. The article also discusses the challenges associated with implementing such a system, including data security and latency, which are important points to consider when transmitting real-time data and generating alerts about machine operation.

In the field of data storage and big data, machine learning algorithms have been widely studied for their ability to analyze and interpret large data sets. A review conducted by Sarker [12], in **Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions**, elucidates various statistical and machine learning techniques pertinent to feature selection and data analysis. Methods such as Variance Analysis and Chi-Square tests are highlighted for their utility in identifying statistically significant features in data sets. These techniques are particularly relevant for systems that require real-time data analysis and decision-making, such as industrial sensor monitoring systems.

In addition, the article discusses the application of machine learning algorithms in various areas, potentially including industrial settings and the Internet of Things (IoT). Although the article does not specifically delve into real-time data analysis, the algorithms and methods presented can be adapted for such purposes. For instance, machine learning algorithms can be employed to predict sensor failures or other anomalies based on historical data, thereby enhancing the robustness and reliability of industrial monitoring systems.

In this way, the methodologies and algorithms discussed by Sarker [12] provide guidance for the development of systems that require efficient data storage and real-time analysis capabilities.

2.3 Data Processing and Analysis

The article `Next-Generation Big Data Analytics: State of the Art, Challenges, and Future Research Topics` by Lv et al. [13] provides a comprehensive review of the current landscape of BDA, covering various types of data, storage models, and analysis methods. The article also addresses the challenges and future research directions in BDA, emphasizing the role of emerging technologies such as edge computing, machine learning, and blockchain.

In the context of this dissertation, the article’s comprehensive treatment of data storage models and analysis methods is particularly relevant when it discusses storage models, including NoSQL databases like MongoDB, which can provide insights to optimize the database component of this project.

Furthermore, the exploration of various analysis methods by the article, such as machine learning algorithms and real-time analysis, can serve as a guide for future improvements in data analysis by the Data Processing Module in this project. The article also discusses the integration of edge computing for real-time analysis, which could be a future direction for this dissertation in order to make the system more scalable and efficient in an industrial environment.

Although the article covers a wide range of topics, its general principles and methodologies can be adapted to the industrial context of this dissertation. The article not only describes the practical applications of BDA, but also discusses challenges, such as data security and privacy, and future research directions.

Another relevant article is `Big data analytics in smart grids: a review` by Zhang et al. [14], which provides a comprehensive review of the role of BDA in the context of smart grids. The article explores various analysis techniques, including machine learning algorithms, statistical methods, and data mining, and their applications in smart grid systems. It also discusses the challenges and future directions in the field, such as data security, real-time analysis, and integration of renewable energy sources.

The exploration of machine learning algorithms and statistical methods by the article

can be especially informative to enhance the real-time data analysis performed by the Data Processing Module in this project. Moreover, the article’s discussion on real-time analysis is directly relevant to the focus of this dissertation, as it explores the challenges and solutions in implementing real-time analysis in smart grids, which could offer options for the development of this system’s real-time analysis capabilities.

The paper also discusses data security challenges, which could be pertinent when considering the secure API for managing access to sensor data in an industrial environment. Although the paper is focused on smart grids, its general principles and methodologies can be adapted to the context of industrial sensor monitoring of this dissertation.

An important work that discusses data structuring is presented in the paper **Advanced data analytics for enhancing building performances: From data-driven to big data-driven approaches** by Fan et al. [15]. This paper presents a critical review of data-based methods for building energy modeling and their practical applications for improving building performance. Although the main focus of the paper is on building energy systems, its methodological approach and findings provide important insights for this project. The paper categorizes analysis techniques into descriptive, prescriptive, predictive, and preventive procedures, and discusses the transition from traditional data-based methods to big data-based approaches.

The detailed discussion of the article on data-based methods can guide the statistical data analysis carried out by the Data Processing Module. Moreover, the exploration of big data-based approaches by the article may offer new perspectives to optimize the MongoDB database used in this system. The article discusses the challenges and opportunities in transitioning from traditional data storage and analysis methods to big data-based approaches, which may be relevant to enhance the system’s adaptability and performance in an industrial environment.

Although the article focuses on building performance, its general principles and methodologies on data analysis can be adapted to the context of industrial sensor monitoring of this dissertation. The article also goes through the practical applications and challenges of data-based methods, which can serve as a guide for future improvements and adaptations

of the system based on feedback from the real production environment.

2.4 Development Methodology

In the field of software development methodologies, the article by Radha Shankarmani titled "Agile Methodology Adoption: Benefits and Constraints"[16] provides valuable insights into the iterative nature of agile processes. The article emphasizes the importance of iterative cycles that deliver tangible and usable results after each iteration. Furthermore, it discusses the role of customer checkpoint reviews for quality assurance at the end of each iteration, ensuring that the work aligns with predefined quality standards. The article also highlights the importance of post-release reviews that generate feedback for improvement plans, which is of utmost importance for the process.

These agile practices are particularly relevant to the current project. Given the focus on real-time data analysis and alert systems, the iterative approach and feedback mechanisms discussed in Shankarmani's article can be instrumental. Specifically, iterative cycles can facilitate incremental development and refinement of system modules to better meet needs according to received feedback. Furthermore, the feedback generated by post-version reviews can be invaluable for improving the overall quality and performance of the system, especially when the software is put into production.

Thus, the agile methodologies discussed in the article can serve as a guiding framework for managing the evolutionary process of the system over time, ensuring its adaptability and adequate responsiveness to the context and needs of the company.

2.5 Conclusion

In the review of the state of the art, various approaches were analyzed, covering areas such as data storage and big data, real-time monitoring, data analysis processes, and methodology for software products. These topics are crucial for understanding and developing a robust system for monitoring industrial sensors. The reviewed academic articles provided

important information in both technical aspects and broader context considerations. From a technical standpoint, the methods and technologies explored in the consulted works helped to understand issues related to efficiency in real-time communication between sensors and servers, as well as the structuring of databases to accommodate and retrieve large volumes of information.

Furthermore, the state of the art provided guidelines on advancements in the application of AI for data analysis. These applications prove to be especially relevant for areas such as predictive maintenance, which not only benefit from real-time data analysis, but also from the ability to make reliable predictions about future system states. This integration of AI can open doors for more proactive and less reactive monitoring, contributing to the overall increase in efficiency and reduction of operational costs.

Regarding the context, the review of the state of the art also helped to identify the challenges and opportunities that may shape future versions of this monitoring system. Trends in emerging technologies and industrial practices can be informed by these academic reviews, allowing the project to stay aligned with the most recent advancements in the field and prepared to meet new demands that may arise. Regarding the current implementation, it is pertinent to mention that it presents a lower level of complexity compared to the solutions detailed in the discussed literature since the goal is to develop a first functional version of the system, which can be iteratively improved. This approach allows for faster validation in real production environments, paving the way for refinements based on practical feedback and observed performance.

Capítulo 3

Methodology

The methodology section explores an approach to software development, starting with the definition of requirements, moving on to the method of data reception, and the selection of technologies. The development process incorporates the creation of user stories, organized on a Kanban board for task management, and the configuration of repositories. Documentation and regular meetings that track progress are a constant in all phases to ensure that the project is proceeding as expected.

3.1 Requirements Definition

The precise definition of requirements is crucial to ensure that the developed system meets the project's needs and objectives in an agile way [17]. The requirements of this project were classified into functional and non-functional categories, to ensure a complete understanding of what is expected from the system.

3.1.1 Functional Requirements

Functional requirements play a fundamental role in system development, defining the functions that a system or software component should be able to perform. Essentially, they provide a description of the interactions the system will have with its users or other

systems, specifying the services the system should provide.

To ensure effectiveness, functional requirements must be clearly defined, unambiguous, and measurable, traceable, complete, and consistent. Moreover, they should be defined considering the needs and objectives of the project, ensuring that the developed system is not only technically sound but also useful and relevant to its end users.

Within the context of the developed system, the functional requirements of the system and their description are listed below, to clearly state, functionally, what the system should do.

FR1 - The system must allow a user to securely access the system with an email and password

Given that the system is for viewing the operational data of a stamping industry, the information provided should only be accessed by previously authorized users.

FR2 - The system must allow a user to view their personal information that is stored in the system

Each user who has access to the system will have some of their personal data registered in it, such as email, position, and type of access. Therefore, each user should have access to their personal information that is saved in the system.

FR3 - The system must display in real time the values read by the sensors in each of the machines

Upon receiving the data sent by the sensors, the system should display on screen the read values, separated by sensor type and machine.

FR4 - The system must store an ideal maximum value for each type of sensor used

Each sensor should have an ideal maximum value for operation. It will serve as a parameter to understand whether the value read by the sensor indicates good or poor machine performance.

FR5 - The system must identify whenever a value read by the sensor is not below the ideal value

This requirement refers to the system's ability to automatically detect every time the sensor indicates a value that is not below the pre-defined limit. That is, if the ideal value is X, and the sensor reads a value greater than or equal to X, the system will recognize this situation.

FR6 - The system must always register when a value read by the sensor is not in accordance with the ideal value

This requirement implies that the system must keep a record of all times when the value detected by the sensor is not below the stored ideal value.

FR7 - The system must display on screen when a value read by the sensor is not below the ideal

Whenever the sensor detects a value below the ideal standard, the system should display an alert on the interface so that it is always visible to the user.

FR8 - The system must display in notification format the records of non-operation below the ideal value

This requirement establishes that the system should present to users in the form of notifications when the sensor reads a value above the ideal, to enable users to be informed, even if later, whenever an alert is identified.

FR9 - The system should allow the user to mark a notification as read, so that it does not appear again

After being notified, users should have the ability to mark this notification as "read", ensuring that the same information does not continue to be displayed repeatedly.

FR10 - The system should display graphs showing the values read by the sensors on previous days in an aggregated manner, separating by machines

This requirement ensures that users can view, through graphical representations, the readings of sensors from previous days in an aggregated manner. These graphs should be categorized by machine, providing a detailed analysis of the performance of each piece of equipment over time.

FR11 - The system must display in the graphs a statistical analysis of the machines' operation, along with the maximum ideal operating value

The graphs should provide a statistical analysis, showing the statistical indicators of the aggregated data average, median, 75th percentile, and average removing outliers. Along with this, the graph will also show the ideal value, serving as a reference for evaluating performance.

FR12 - The system must allow filtering the information displayed on screen by machines

Users should have the flexibility to select and view specific information for certain machines, allowing them to focus on specific equipment as needed.

FR13 - The system must allow filtering the charts displayed on screen by date

The system should offer the ability for users to filter graphic displays by specific dates, allowing for detailed temporal analyses and comparisons between different periods.

FR14 - The system must display the machine stoppage charts in a way that exemplifies the display of this data

The system should display machine stops according to the data passed by the spreadsheets with the data. In this way, it can be exemplified how the machine stop information would look if the system received this information.

3.1.2 Non-Functional Requirements

Non-functional requirements are specifications that determine the performance characteristics, usability, reliability, and other properties that the system must possess, rather than specific behaviors it should demonstrate. While functional requirements describe what a system should do, non-functional requirements specify how the system should perform these functions.

These requirements are crucial to ensure user satisfaction and the operational effectiveness of the system, playing a fundamental role in the quality and overall operation of a software product.

Non-functional requirements can be of various types, such as usability, performance, security, availability, maintenance, and reliability. Within the context of the developed system, the non-functional requirements of the system and their description are listed below, to make clear what was taken into account when developing each of the system's functionalities.

NFR1 - Availability

The system must have automatic reconnection mechanisms that activate when connection problems or data reception from sensors are detected, thus ensuring the continuity in data reception.

NFR2 - Access Security

The system must implement access controls so that only authorized employees have permission to access data and functionalities relevant to their role.

NFR3 - Network Security

To ensure the security of data transmission, the connection to the system must be established using the HyperText Transfer Protocol Secure (HTTPS) protocol, which incorporates the Transport Layer Security (TLS) security layer, thus protecting the data against interceptions and alterations.

NFR4 - Real-time Transmission

The system must process and transmit the data sent by the sensors in a streaming-based architecture. The delay between the sensor sending the data and its visualization by the end user should be less than three seconds.

NFR5 - Modularity

The system's architecture should be modular, allowing for the integration and addition of new components or functionalities in an efficient manner without compromising the operation of the existing parts.

NFR6 - Maintainability

Prioritizing longevity and ease of maintenance, the system should be developed following good programming practices and system modularization. This will facilitate future modifications, expansions, and the correction of any potential problems.

NFR7 - Scalability of sensors and machines

The system design must be able to handle an increasing volume of sensors and machines, ensuring that there is no performance degradation or failures when the demand for

resources increases.

NFR8 - Portability

The system must ensure compatibility with the main web browsers available on the market. In addition, the user interface should adapt well on larger screens such as televisions, allowing the dashboard to be clearly viewed in different factory environments.

NFR9 - Usability

The system interface and its components should be designed considering fundamental principles of interaction design, ensuring that users can understand and interact with the system in an intuitive and efficient manner.

3.2 Data Collection and Storage Method

Within the project context, the way sensor data is collected and stored greatly influences the system's operation, as it is from them that the entire system is structured. Thus, a protocol developed in another project within the same context of the **Attract Project** was used as a basis, which transmits all the necessary information for the context of this project. Within the system in question, the responsibility of implementing the decoder for the given protocol was assigned.

The protocol format is structured to represent the information pertinent to the machine, the type of communication, the sensor, and the meaning of the transmitted data, following the format below:

Machine ID (2 bytes)

The *Machine ID* field is responsible for identifying the machine in question and is divided into two subfields:

- **High (higher order bytes):** Represents the type of machine. Possible values include: press, lathe, robot, conveyor, among others.
- **Low (lower order bytes):** Identifies the machine number.

Type (1 byte)

The *Type* field indicates the type of message and can assume the following values:

1. Publish
2. Request to publish

Sensor ID (2 bytes)

The *Sensor ID* field provides details about the sensor that is transmitting the data:

- **High (higher order bytes):** Represents the physical quantity being measured, such as temperature, speed, pressure, force, among others.
- **Low (lower order bytes):** Indicates the sensor number.

Meaning of Data (2 bytes)

The *Meaning of Data* field provides information about the type and meaning of the data:

- **High (higher order bytes):** Data type:
 1. Not defined
 2. Normal
 3. Raw data
 4. Alarm
- **Low (lower order bytes):** Meaning of the data, which varies according to the equipment. Examples include:

- Oil critical temperature
- Check oil temperature
- Oil pressure

Length (2 bytes)

The *Length* field indicates the number of subsequent bytes in the package.

Data

This field represents the data transmitted by the sensor. The exact specification of what the data represents should be defined and standardized, as indicated by the notation (*).

3.3 Software development process

With a clear definition of the system requirements and how the data read by the sensors are transmitted, the process of how the project would be developed was defined. This development process involves defining user stories, organizing activities, organizing documentation, setting up repositories on GitHub, and holding regular meetings with the supervising professor and the company to discuss progress.

3.3.1 User Stories

In agile software development, one of the most user-centered approaches to understanding system features and requirements is the use of *user stories*. These are short, simple, and informal descriptions from the perspective of an end user, capturing what they need or want to do in the software [18].

The typical structure of a user story is: "As a [type of user], I want [an action] so that [a benefit/outcome]". This structure helps to keep the focus on the user's needs and desires, rather than prematurely diving into technical solutions or implementation details.

In addition to being a communication tool between developers and stakeholders, user stories facilitate task prioritization, assist in creating acceptance criteria, and provide a basis for interactive discussions during review and planning meetings.

In short, user stories serve as an effective means of translating complex requirements into manageable, user-centered tasks, ensuring that the final product meets the expectations and needs of its users.

With this definition of user stories, the following items were defined that translate the requirements into tasks for the project development:

1. As a user, I must be able to log in with my credentials to use the system.
2. As a user, I should be able to view my personal information on a profile page to manage the data the system holds about me.
3. As a user, I should be able to view in real-time values of the machines to detect relevant variations in operation more quickly.
4. As a user, I should be able to view the historical values of the sensors aggregated in charts of the machines to monitor the status over time.
5. As a user, I should be able to filter the dashboard information by machine and by date to view data according to my needs.
6. As a user, I should be alerted when a sensor reads a value that exceeds the ideal parameter so I can take necessary actions as quickly as possible.
7. As a user, I should be able to view system notifications to be alerted about machine operation alerts.
8. As a user, I should be able to view the machine downtime records for a better and more organized view of the recorded machine downtimes.
9. As a user, I should be able to view the system information (dashboards) on different screen sizes so that I can display the information in different contexts.

Each of these user stories was further detailed in the task organization, including a more complete description, possible business rules, which requirements, functional and non-functional, it refers to, and also acceptance criteria. The organization of activities is detailed in section 3.3.2.

3.3.2 Task Organization

The Kanban method, originating from the Toyota production system, has become a popular and effective tool for managing and organizing workflows. The word "Kanban" is of Japanese origin and can be translated as "visual card" or "signage". In the context of project management, Kanban refers to a visual management system that highlights the workflow and tasks at different stages of the process. The essence of Kanban is to visualize the entire workflow, from tasks that have not yet been started to those that have been completed. This visualization allows the identification of bottlenecks and inefficiencies, thus optimizing the process [19]. For the organization of the activities of this project, the Kanban method was adopted as a strategy to ensure an efficient and systematic progression of work.

For the implementation of the Kanban method, Notion was chosen as the tool. The choice of this software is due to its flexibility and customization capacity, allowing the creation of a Kanban board that specifically adapts to the project's needs [20]. In addition, Notion offers an intuitive interface for building documentation, which is further detailed in section 3.3.3.

The Kanban board was structured into five columns, each representing a distinct stage in the workflow:

- **Backlog:** This column contains all identified tasks and activities that have not yet been started. It is a repository of everything that needs to be done, but does not yet have a defined start date.
- **To Do:** The tasks in this column are ready to be started. They have been taken from the Backlog, detailed, and have priority to be started soon.

- **Stopped:** Here are the tasks that have been started, but for some reason had to be interrupted, from changes in priority, the need for some validation, or technical limitation.
- **In Progress:** This column contains the tasks that are currently underway. The move to this column indicates that work is actively being done on the task.
- **Done:** As soon as the development of a task is completed, it is marked as completed, and therefore, moved to this column. It represents the success in completing the activity, and serves as a record of all completed items.

The structuring of these columns provides a clear view of the status of each activity and helps to quickly identify where the bottlenecks are, facilitating decision-making and task prioritization.

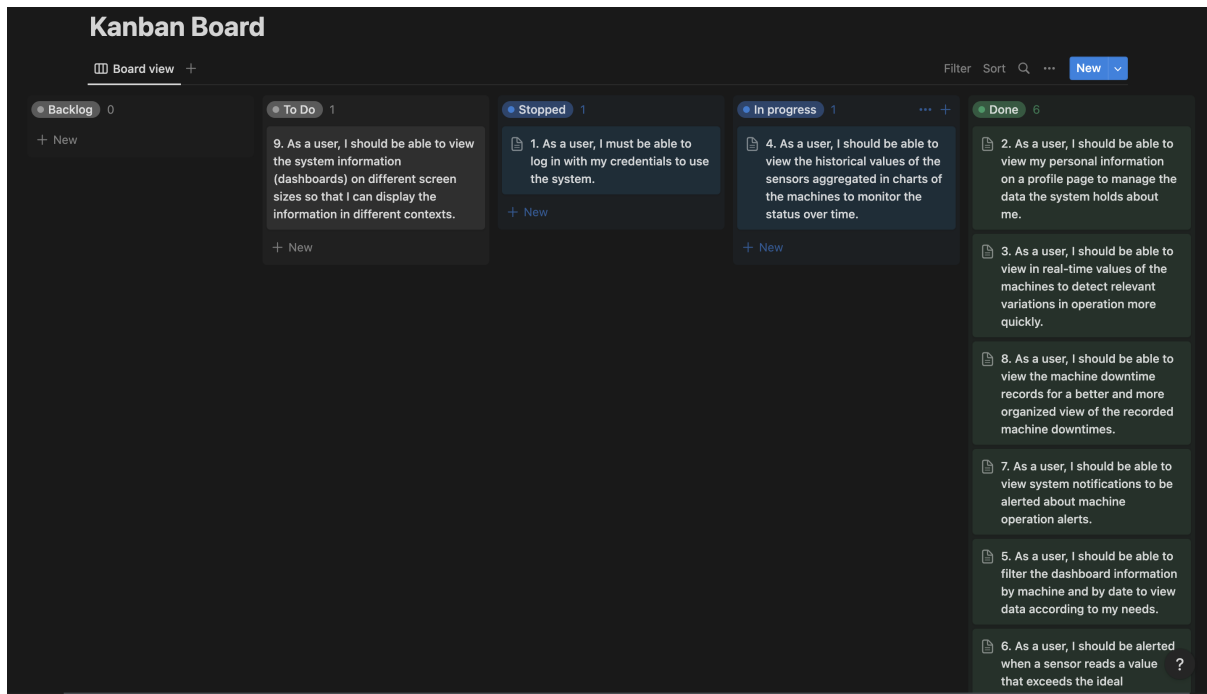


Figura 3.1: Kanban board used to manage the tasks.

In order to better define the implementation of each user story, each card on the Kanban board was detailed with a description that includes relevant business rules, references

to functional and non-functional requirements, acceptance criteria, and sub-tasks. Before a user story can be moved to the "In Progress" column, it is essential that these fields are evaluated to ensure an understanding of the task scope. The acceptance criteria play an important role in verifying that a story meets all the established requirements before it is marked as completed.

To illustrate this process, user story number 1 is detailed.

1. As a user, I must be able to log in with my credentials to use the system.

- **Description:** To ensure security and customization of the user experience, the system must have an authentication feature. The user must enter their credentials - usually a username or email address and a password - to access their account and the functionalities associated with it.
- **Relevant Business Rules:**
 - Users cannot access the system without authentication.
 - Attempts to log into the system should be stored in the database.
 - Passwords should be stored securely, using techniques such as hashing.
- **Requirement References:**
 - **Functional:** FR1
 - **Non-Functional:** NFR2, NFR3, NFR6, NFR9
- **Acceptance Criteria:**
 - The system must present a clear and intuitive login screen.
 - After correctly entering the credentials, the user should be redirected to the system's home page (/dashboard).
 - If the credentials are incorrect, the user should receive a clear error message.
- **Sub-tasks:**

- Design the login screen interface.
- Build the login interface in the repository.
- Implement the user creation logic with password hash.
- Implement the authentication logic in the backend with JSON Web Token (JWT) Token.
- Test the security and effectiveness of the login functionality.
- Test if the API is returning the HyperText Transfer Protocol (HTTP) codes correctly.

3.3.3 Project Documentation

The project documentation was created using the Notion tool. The choice for this project was based on the fact that Notion stands out for its flexibility, allowing an adaptable configuration of the text to meet various types of needs. The intuitive interface makes the insertion and updating of information a simple process, which can be executed as it is a platform accessible on the internet by any browser [20].

In this way, the documentation was elaborated adopting a structured approach to ensure that all features and functionalities were properly cataloged. The basis of this documentation is a table, where each entry corresponds to a functionality or a specific part of the system, being named according to the name of the feature in question.

Each item in the table expands into an independent page, with descriptive details. This organization allows understanding in each aspect of the system, as it was being built as the system was developed, thus reflecting the most recent additions and changes.

To facilitate navigation and search for specific information, a tag column was incorporated into the table. These tags serve to categorize functionalities, and also an efficient search mechanism, allowing users to quickly identify the relevant aspects of the system.

In addition, the internal design of each page is based on the structure of markdown, explained in [21], to ensure that the content of the documentation is presented in a clear,

structured, and aesthetically pleasing way, facilitating the understanding and absorption of information by the reader.

3.3.4 Repository Configuration

The platform chosen for managing the project’s repositories was GitHub [22], one of the most renowned and widely adopted Git-based version control platforms currently available. The decision to use GitHub was based on several factors. Firstly, the platform offers an intuitive interface and a robust set of tools that facilitate tracking code progress, as well as collaboration among different team members. In addition, GitHub is widely recognized for its active community, which translates into a vast range of resources, tutorials, and available support, essential for resolving possible doubts and challenges. Furthermore, integration with other tools and platforms is easily achievable if necessary, allowing for a continuous and optimized workflow. Finally, GitHub’s commitment to security, ensuring the integrity of the project’s code and data, reinforced our decision to adopt it as the version control solution for the developed project.

In this context, the repositories created for this project were **backend**, which stores the code related to the system’s API, another called **frontend**, which stores the code of the dashboard that is displayed on the web, and another called **iot_sensors_data_aggregation**, responsible for storing the code that performs the aggregation of the data received by the sensors, the Data Processing Module.

3.3.5 Periodic meetings

The development of the project was accompanied by meetings to ensure its alignment with the project objectives. Weekly meetings with the supervising professor were established, ensuring a constant review, time to ask questions, and to detail activities. These meetings provided continuous feedback, allowing for trajectory correction and focus on the desired progress for the project. In parallel, monthly meetings were conducted with the interested company, to present what was being built, gather feedback, guidance on desired features,

and also to better understand how the company operates and its needs.

These meetings played a fundamental role in integrating academic research and the practical needs of the industry, ensuring that the developed solutions remained relevant and applicable to the business context. This supervision system was crucial in keeping the project on track, balancing academic needs with industrial applicability within the company's context.

3.4 Technologies

The selection of technologies was carried out to meet specific requirements of scalability and long-term sustainability. Given that the system is primarily aimed at data storage and management, its use as a reference for future projects with similar characteristics was anticipated, therefore, the emphasis was placed on modern technologies, widely recognized and with robust support in the development community.

In this context, MongoDB was chosen as our non-relational database solution, due to its flexibility and performance. Python was adopted as the language for the backend, due to its versatility and extensive library. The FastAPI framework, in turn, was employed for the development of the API, thanks to its efficiency and ease of integration. In the frontend scope, the JavaScript language was complemented by the NextJs framework, recognized for its optimization and advanced features. To ensure a fluid and modular integration of the system components, Docker containers were used, while efficient web server management was ensured by NGINX.

3.4.1 MongoDB

When selecting a database platform, MongoDB [23] was chosen, a non-relational database system designed to flexibly adapt to changes in the format of the data that is stored. MongoDB provides ease in manipulating the data lake in various contexts. Its meticulously structured documentation, coupled with a vast range of content available online, proved to be invaluable for knowledge acquisition.

Distinctively, MongoDB presents advantages such as the ability to support distributed and parallel queries, optimizing the processing of intricate requests in scenarios with significant data density. Additionally, its compatibility with a wide variety of data analysis tools sets a promising precedent for future evolutions of the project.

3.4.2 Python

In the development of the backend, the Python language [24] was chosen, widely recognized for its versatility, readability, and adaptability in various application contexts. Python, being one of the most popular and widely accepted languages in the academic and industrial world, presents a vast standard library and robust community support. The rich range of educational materials, which spans from detailed tutorials to extensive discussion forums, was essential for learning.

Python’s intuitive syntax favors rapid prototyping and development, while the wide range of available frameworks and libraries enhances its application in various aspects, from data analysis to web development. These intrinsic characteristics, combined with the language’s flexibility and efficiency, consolidate the decision to adopt Python as the central language for the backend in this master’s project.

3.4.3 FastAPI

In the backend implementation phase, it was decided to use the Python language, combined with the FastAPI framework [25]. This choice was largely motivated by the efficiency and high performance offered by FastAPI. This framework stands out for incorporating the Asynchronous Server Gateway Interface (ASGI) library, an interface that optimizes request management, by fully leveraging asynchronous execution, ensuring more agile and accurate responses. An important feature of FastAPI is its comprehensive and well-crafted documentation, which serves as a fundamental tool in the learning and development process.

3.4.4 NextJs

For the frontend architecture, the choice was made to use Next.js [26], a framework that significantly enhances the interaction with the JavaScript React library [27], as emphasized in the official React documentation itself. Community support is one of its main features, being widely complemented by a range of educational materials available on the internet - from tutorials to blog articles and instructional videos - which contributed essentially to the learning process.

In the scope of this project, alongside Next.js, TypeScript [28] was incorporated, which, due to its static typing nature, provides a more intuitive code maintenance, increasing its readability, simplifying its understanding and management.

The coherence between Next.js and TypeScript establishes a highly effective development environment. While Next.js promotes a more fluid and high-performance development experience, TypeScript strengthens security and productivity, thanks to its rigorous typing. These factors justify the choice of the combination of Next.js and TypeScript for the realization of this project.

In addition to Next.js and TypeScript, Material UI 5 [29] was integrated into the project as a user interface design library. This set of React components, based on Google's Material Design standard [30], offers a wide range of already stylized and easy-to-implement interface elements. Besides saving time in developing components from scratch, the library provides a cohesive and modern user experience. The use of Material UI 5 also contributes to the standardization of design throughout the project, ensuring a more intuitive and pleasant user experience. Therefore, the addition of this feature effectively complements the already robust capabilities offered by the combination of Next.js and TypeScript, making the development environment even richer and more productive.

3.4.5 Docker

For the orchestration and management of the development and production environment, Docker [31] was adopted as the containerization tool. Docker, widely recognized in the

software development universe, allows encapsulating applications and their dependencies in containers, ensuring uniformity, reproducibility, and isolation among environments [32]. This approach significantly simplifies integration, testing, and deployment processes, as containers can be transparently moved between different environments and platforms.

The extensive documentation available, along with an active community, provided a clear understanding and facilitated the adoption of this technology. In addition, the flexibility and efficiency provided by Docker, by minimizing dependency conflicts and ensuring that the application works consistently in various contexts, were decisive factors for its choice in this project.

3.4.6 NGINX

For the part of managing web requests, NGINX [33] was adopted as the web server. NGINX is recognized for its high performance, reliability, and flexibility, making it a suitable choice in production environments that demand low latency, efficient handling of a large number of simultaneous connections, and the ability to serve static content extremely quickly. These characteristics make it particularly suitable for systems aiming for scalability and robustness.

The extensive documentation and the vast community resources were essential to deepen the understanding and apply best practices in the project context. Considering the need for a consistent and optimized delivery of content to the end user, as well as a secure and effective proxy configuration, NGINX proved to be the preeminent choice for this master's dissertation.

Capítulo 4

Arquitetura do sistema

Neste capítulo, é abordado em detalhe a arquitetura e a estrutura adotada para a construção dos componentes do sistema. É importante compreender que o sistema foi concebido como um conjunto de módulos, com cada um desempenhando funções específicas, e quando operados em conjunto, esses módulos resultam na realização dos propósitos pensados para o sistema.

O sistema é estruturado fundamentalmente em camadas distintas, o backend, o frontend, e o banco de dados.

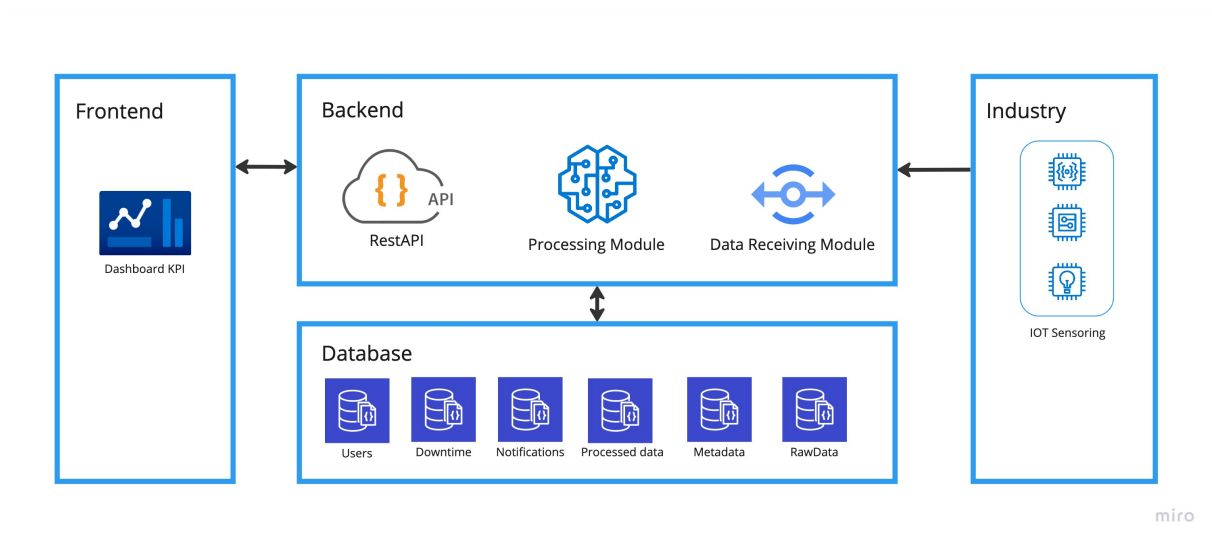


Figura 4.1: System architecture.

O backend funciona como o núcleo do sistema. Sua principal função é a de receber os dados, processá-los conforme as regras estabelecidas nos requisitos e histórias de usuários e, armazená-los de maneira segura no banco de dados. Além das funções de armazenamento e processamento, ao backend também é atribuída a responsabilidade de disponibilizar esses dados por meio de uma API, que pode ser acessada utilizando métodos HTTP. Esta API age como um intermediário entre a lógica central do sistema e as interfaces com as quais o usuário final interage, o frontend. Por outro lado, o frontend é caracterizado como a interface visual que o usuário final acessa. Serve como meio pelo qual os usuários interagem com o sistema, enviando e recebendo informações. Esta camada é projetada para acessar, recuperar e apresentar os dados processados e armazenados pelo backend de acordo com princípios de design e data visualization [34].

Como pode ser visto na figura 4.1, na planta industrial, onde as máquinas com os sensores se encontram, os sensores enviam os dados para o sistema, que recebe eles por meio do modulo de recebimento de dados e os armazena no banco de dados. O modulo de processamento acessa os dados armazenados para realizar a agregação, e a API gerencia o acesso ao banco de dados, disponibilizando as informações para os usuários no frontend.

Nas seções seguintes, cada um desses componentes será explorado mais profundamente, passando por suas especificidades e interações.

4.1 Arquitetura backend

Nessa seção é abordado o funcionamento do backend. Ele está dividido em três partes, o modulo de recebimento dos dados dos sensores, o modulo de processamento onde é feita a agregação e análise estatística dos dados, e a API que gerencia o acesso as informações por meio de requisições HTTP.

Em relação a organização dos repositórios, a API e o modulo de recebimento de dados ficam no mesmo repositório, facilitando a comunicação entre eles. Já o modulo de processamento está em um repositório a parte, sendo a sua única função sendo ler o banco de dados, processar os dados, e armazenar os resultados.

4.1.1 Modulo de Recebimento de dados

Para o modulo de recebimento de dados, inicialmente, destaca-se a classe **SensorConnection**, cuja a função é gerenciar e manter a conexão com a rede de sensores. Essa classe faz a transmissão dos dados recebidos à uma função designada **save_data_func**, assegurando que os dados sejam encaminhados para manipulação apropriada.

Na próxima parte da arquitetura, é utilizada a classe **IotSensorConnection**, que se origina da interface **IotSensorConnectionInterface**. Esta interface foi criada para garantir a adaptabilidade do sistema, facilitando a integração de diferentes tipos de recebimentos de dados, como por exemplo, uma classe destinada a gerar dados dos sensores em um ambiente de desenvolvimento, onde não há acesso ao sensor real. A classe **IotSensorConnection**, quando instanciada, é encarregada de estabelecer a conexão, e criar uma nova thread que opera como um ouvinte ativo, monitorando a chegada de novas informações. Ao perceber a recepção de novos dados, a classe direciona estas informações para uma terceira entidade, a qual detém a responsabilidade de aplicar as regras de negócio.

Esta terceira entidade é a classe **SensorsRepository**, que quando acionada com dados oriundos dos sensores, tem a responsabilidade de avaliar a informação com base nos parâmetros estabelecidos, decidindo se é necessário acionar um alerta, e tornar os dados do sensor acessíveis via API, garantindo que esses dados estejam disponíveis para serem transmitidos em tempo real, via stream, para todos os usuários conectados. Além do mais, o dado é salvo no banco de dados, especificamente na coleção de dados brutos do data lake, **Raw Data**. Uma vez salvos no banco de dados, estes dados brutos estão disponíveis para serem processados pelo módulo de processamento.

A disponibilização dos dados pela classe **SensorsRepository** acontece por meio da instancia da classe **SensorValue**, que com o método **update_current_sensor_value** atualiza os dados em memoria que são acessados pelos usuários conectados.

O diagrama que mostra a organização dessas classes pode ser visto na figura 4.2. Este design assegura que os dados brutos dos sensores sejam efetivamente recebidos, avaliados

e armazenados.

No capítulo 5, é aprofundado nos detalhes de implementação desse módulo.

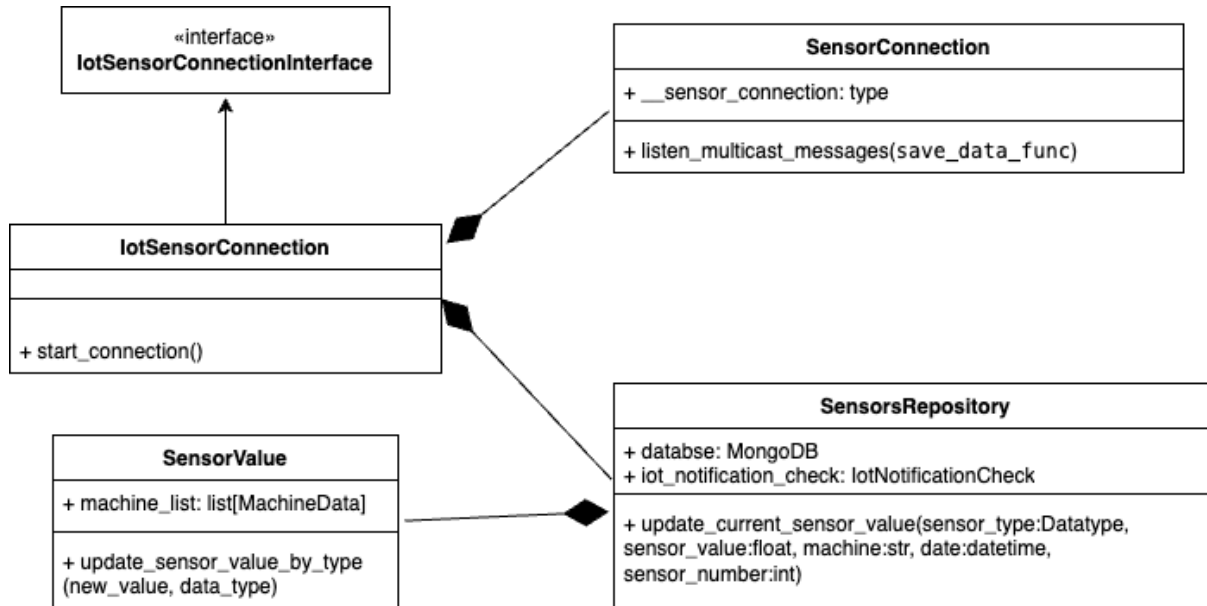


Figura 4.2: Module to receive sensor data.

4.1.2 Módulo de processamento de dados

O módulo de processamento de dados foi desenvolvido para garantir que os dados brutos coletados sejam processados, fornecendo a análise estatística que é exibida para os usuários.

O código é executado quando é invocada uma função específica encarregada de realizar uma série de operações. Primeiramente, uma lista é constituída contendo as coleções do banco de dados responsáveis pelo armazenamento tanto dos dados brutos quanto dos dados já processados. Simultaneamente, uma segunda lista é gerada, representando as máquinas que enviaram informações para o sistema.

Com essas listas, inicia-se um procedimento iterativo, em que, para cada máquina identificada, os dados disponíveis são lidos, submetidos a um processo de análise estatística, após o qual os resultados obtidos são registrados na coleção de dados processados. Essa análise estatística adota o método do Box Plot.

O Box Plot, também conhecido como diagrama de caixa, é uma ferramenta gráfica utilizada para representar a variação de dados observados de uma variável numérica por meio de quartis. Na figura 4.3, pode ser visto o retângulo formado pelo primeiro quartil (Q1), mediana e terceiro quartil (Q3), que fornecem uma noção sobre a centralidade e dispersão dos dados, enquanto as "antenas" estendem-se para mostrar a amplitude completa dos dados, ajudando assim na identificação de possíveis outliers.

Ao adotar o Box Plot, o sistema garante uma compreensão robusta da distribuição dos dados, identificando não apenas tendências centrais, mas também variações e potenciais anomalias [35].

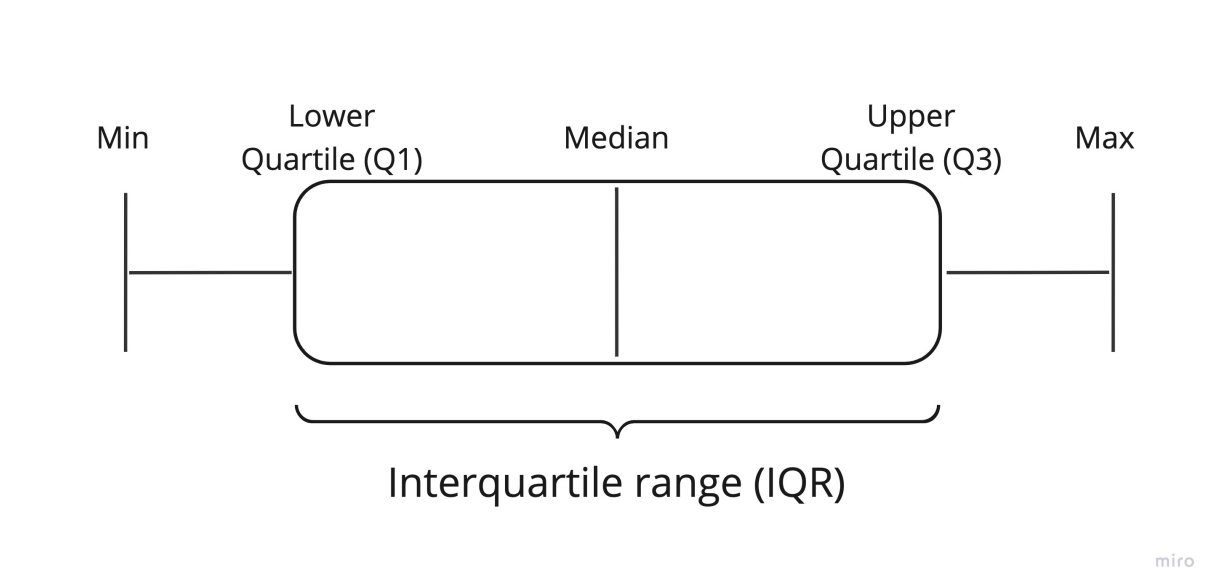


Figura 4.3: BoxPlot.

4.1.3 API

A API foi estruturada em pequenos sub-módulos, cada um focado em um contexto específico. Esta modularização assegura que cada parte da API tenha uma única responsabilidade. Em cada módulo, há uma segmentação composta por: a camada de *controller*, destinada a receber e gerenciar as requisições HTTP; a camada de serviço, que serve para processar a informação e aplicar as respectivas regras de negócio; e a camada de

repositório, cujo papel é estabelecer uma ponte com o banco de dados, acessando e disponibilizando os dados necessários. A figura 4.4 representa a organização de pastas que foi utilizada para essa arquitetura.

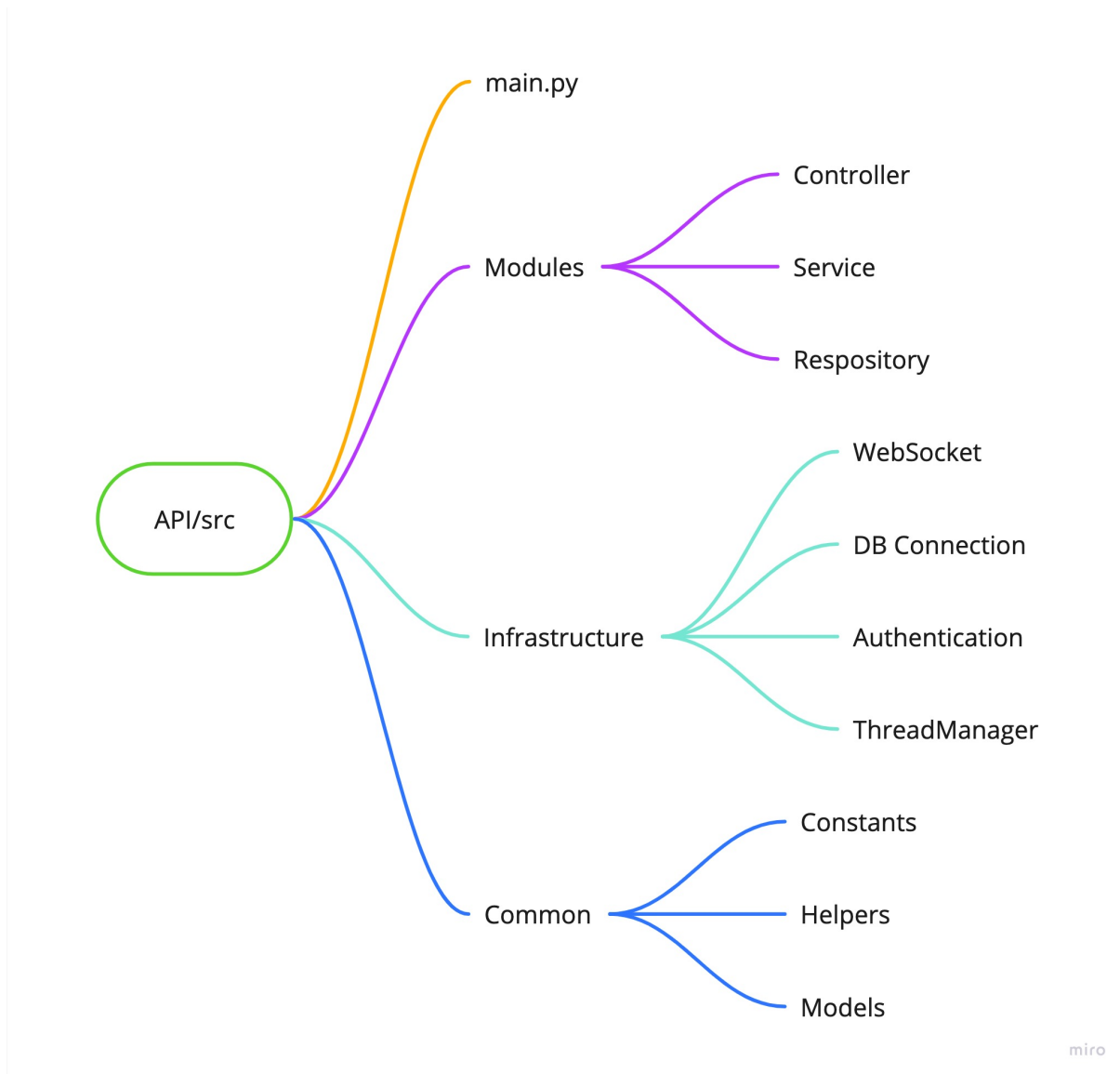


Figura 4.4: API Organization.

Quando uma solicitação é enviada à API, a primeira interação acontece com a camada de *controller*. Uma vez recebida, essa requisição é direcionada à camada de serviço, onde as regras de negócio são aplicadas. A camada de serviço se comunica estreitamente com a camada de repositório, que detém a responsabilidade de acessar o banco de dados e trazer

informações precisas, adequadas às demandas do módulo em questão.

Os módulos implementados na API com a lógica descrita são:

- **Downtime:** Responsável por gerenciar o acesso aos dados de paragem armazenados para teste no sistema.
- **IOT Sensors:** Responsável por gerenciar o acesso aos dados referentes aos sensores das maquinas na fabrica.
- **Notification:** Responsável por gerenciar o acesso as notificações geradas pelo sistema, e também as conexões web sockets para envio de notificações.
- **User:** Responsável por gerenciar o acesso aos dados dos usuários, assim como realizar as operações de login e logout.

Além dessas camadas modulares, existe uma área especifica na API para o armazenamento de códigos comuns a todos os módulos. Esta seção engloba diversas funções úteis, modelos de classes, valores constantes e configurações padrão. Tais elementos garantem uma maior coesão e reduzem a repetição de código, otimizando o desempenho geral. Dentre as configurações padrão, merecem destaque o inicializador que estabelece o acesso ao banco de dados, middleware de autenticação, conexão web socket para envio de notificações, e o inicializador de novas *threads*. Este último é utilizada para operações assíncronas que são executadas em paralelo a operação da API, como aquelas executadas pelo módulo de recebimento de dados.

4.2 Arquitetura do frontend

Utilizando o *Next.js* [26] como framework, o frontend segue uma estrutura básica já estabelecida pelo mesmo.

As rotas do sistema residem na pasta **pages**, alinhadas com as diretrizes do framework. Já os layouts que servem de base para cada página estão localizados na pasta **layouts**.

Os componentes *React* [27] são a fundação de cada página e layout e estão organizados em uma camada específica, permitindo que sejam reutilizados em várias partes da aplicação.

Com a adoção do *Typescript* [28], modelos definem os tipos de estrutura de dados utilizados. Estes são mantidos na pasta `types`, estabelecendo contratos de formato de dados para o frontend. Isso minimiza erros e potencializa a eficiência no desenvolvimento.

A *Context API* do React é empregada para gerir dados nos componentes, permitindo o compartilhamento centralizado de informações, como pode ser visto na figura 4.5. Esta abordagem otimiza a maneira como os dados são acessados e distribuídos no sistema, otimizando a organização da arquitetura.

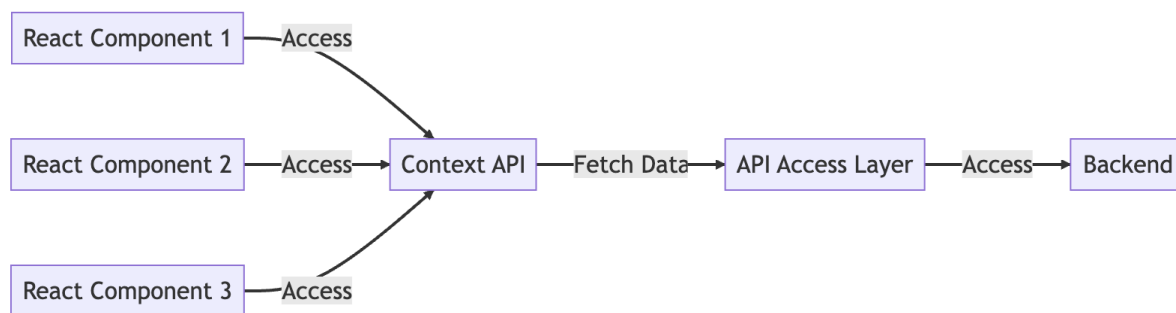


Figura 4.5: Frontend organization.

Existe uma camada específica para acesso externo, que administra a comunicação com a API e as conexões *WebSocket*. Esta é acessada apenas pelos contextos para atualização e recuperação de dados.

Por fim, há uma pasta dedicada para armazenar códigos recorrentes, contendo funções auxiliares, temas e *assets*, facilitando o desenvolvimento e manutenção ao proporcionar uma estrutura clara e coesa.

4.3 Containers

Containers são tecnologias que permitem isolar aplicações em ambientes específicos com todas as suas dependências, bibliotecas e configurações necessárias, sem a sobrecarga de

máquinas virtuais completas. Isso garante que a aplicação funcione de maneira idêntica em diferentes ambientes, desde o desenvolvimento até a produção [36]. Na figura 4.6 é possível visualizar como é o funcionamento dos containers dentro do sistema operacional do host.

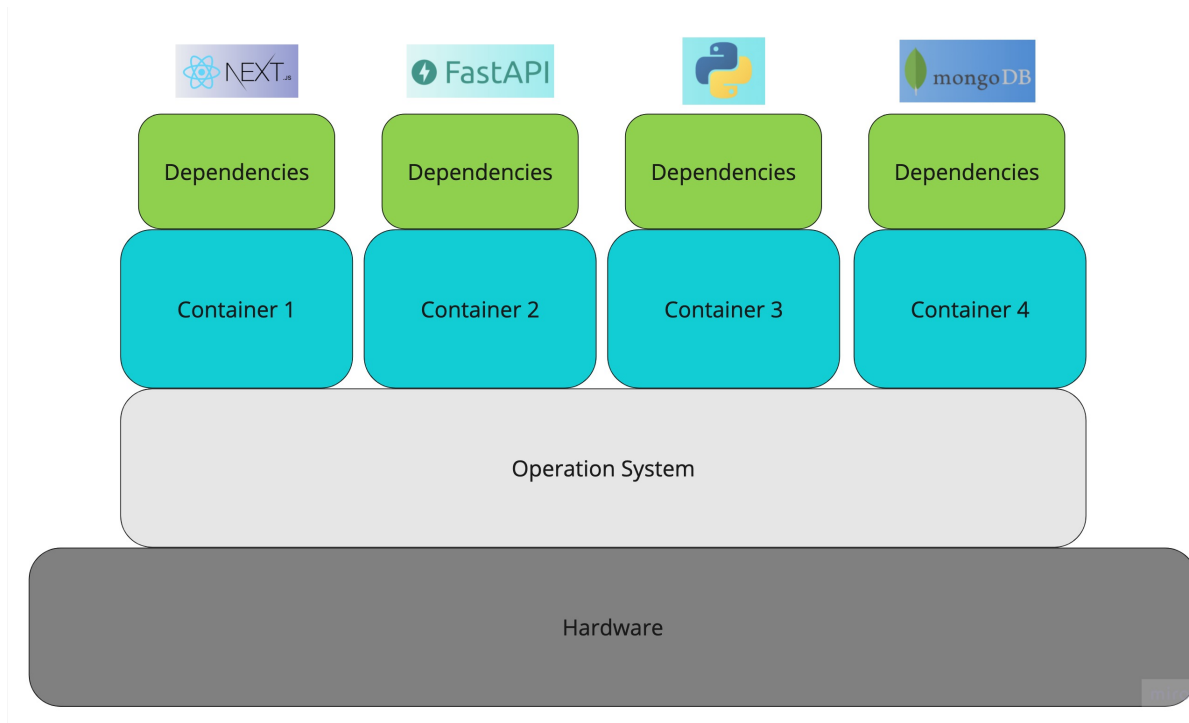


Figura 4.6: How container works.

Dentro do universo dos containers, o *Docker* [31] foi a ferramenta selecionada para este projeto. Diversos fatores influenciaram essa decisão, incluindo uma documentação abrangente, uma comunidade ativa e a presença de uma ampla variedade de conteúdos disponíveis. Além disso, o Docker simplifica a definição, criação e execução de containers, tornando-se uma solução robusta para a implantação de aplicações.

O sistema adota alguns containers para organizar e gerenciar as várias partes da aplicação:

- **Frontend:** Um container dedicado ao frontend, construído com *NextJs*.
- **Backend:** Dividido em dois containers distintos:

Um que abrange a API e o módulo de recebimento de dados;

E outro que é voltado especificamente para o módulo de processamento de dados;

- **Banco de Dados:** Um container para o banco de dados MongoDB, garantindo isolamento e eficiência na gestão dos dados.

A comunicação entre os containers é viabilizada através de uma rede *bridge* providenciada pelo Docker [37]. Esta rede é uma interface de software criada no host que permite que containers comuniquem entre si e com o host, assegurando a conectividade necessária entre os diferentes módulos da aplicação. Com isso é adicionada uma camada a mais de segurança na aplicação, já que toda conexão externa deve ser feita por meio dessa rede. A conexão com rede externa é feita por meio de um web sever, explicado na seção 4.4.

Para garantir a persistência dos dados e evitar a perda de informações vitais, foi empregado o conceito de *volumes* [38] do Docker na arquitetura do sistema. Volumes são espaços designados no sistema host que podem ser acessados e utilizados pelos containers. No contexto deste projeto, um volume foi especificamente configurado para o banco de dados MongoDB. Assim, mesmo que o container do banco de dados seja reiniciado ou removido, a base de dados se mantém intacta e disponível, devido à sua armazenagem no volume, que opera independentemente do ciclo de vida do container.

Com a necessidade de gerenciar múltiplos containers, configurações de rede e volumes de forma coesa e simplificada, foi adotado o *Docker Compose* [39] na arquitetura do sistema. O Docker Compose permite a definição e execução de aplicações multi-container usando um arquivo YAML [40]. Esse arquivo contém todas as configurações necessárias para inicializar e interconectar os containers. Assim, ao invés de executar uma série de comandos para iniciar cada container individualmente, é possível, através do Docker Compose, iniciar todo o sistema com um único comando. Essa abordagem não apenas simplifica o processo de deploy e desenvolvimento, mas também garante que as configurações de rede e volume sejam consistentemente aplicadas em cada execução.

A utilização de containers no projeto trouxe vantagens. Primeiramente, garantiu a

consistência entre os ambientes de desenvolvimento e produção. Adicionalmente, a modularização proporcionada pelos containers facilita a escalabilidade e manutenção do sistema, permitindo atualizações e alterações de forma ágil e segura a medida que o sistema for crescendo. Por último, a utilização de containers facilita a portabilidade do sistema, podendo ser executado em diversos tipos de servidores e sistemas, bastando ter a instalação do docker.

4.4 Web Server

Dentro da arquitetura proposta, com containers executando diferentes partes da aplicação, foi utilizado o *NGINX* [33] para ser o intermediário no tráfego de requisições, assegurando a distribuição correta das solicitações para cada container.

O método empregado para tal é o de proxy reverso. Em termos simples, o proxy reverso atua como uma interface entre o cliente e vários servidores, direcionando as solicitações dos clientes ao servidor adequado (no contexto desse projeto, os containers), e assim, otimizando o uso dos recursos e garantindo uma resposta mais rápida e eficiente.

No que se refere a requisições específicas, aquelas que envolvem retorno em formato de stream ou estabelecem uma conexão *WebSocket*, as configurações específicas foram feitas na configuração do *NGINX*, sendo essas detalhadas no capítulo 5, dedicado à implementação. Ao receber uma requisição, o servidor *NGINX* identifica, com base nela, qual container é o responsável pelo atendimento. Após essa identificação, são aplicadas as configurações adequadas, e a requisição é direcionada ao container correspondente para obter a resposta. Esse workflow pode ser visto na figura 4.7.

A incorporação do *NGINX* trouxe alguns benefícios ao projeto. Um deles é a camada adicional de segurança: o *NGINX* limita o acesso direto aos containers, servindo como uma barreira contra tentativas de acesso não autorizado. Adicionalmente, com o *NGINX*, o processo de escalabilidade torna-se mais simples e eficiente, graças à capacidade inerente do servidor em atuar como um balanceador de carga. Este balanceador de carga distribui o tráfego de entrada entre vários servidores, assegurando que nenhum servidor

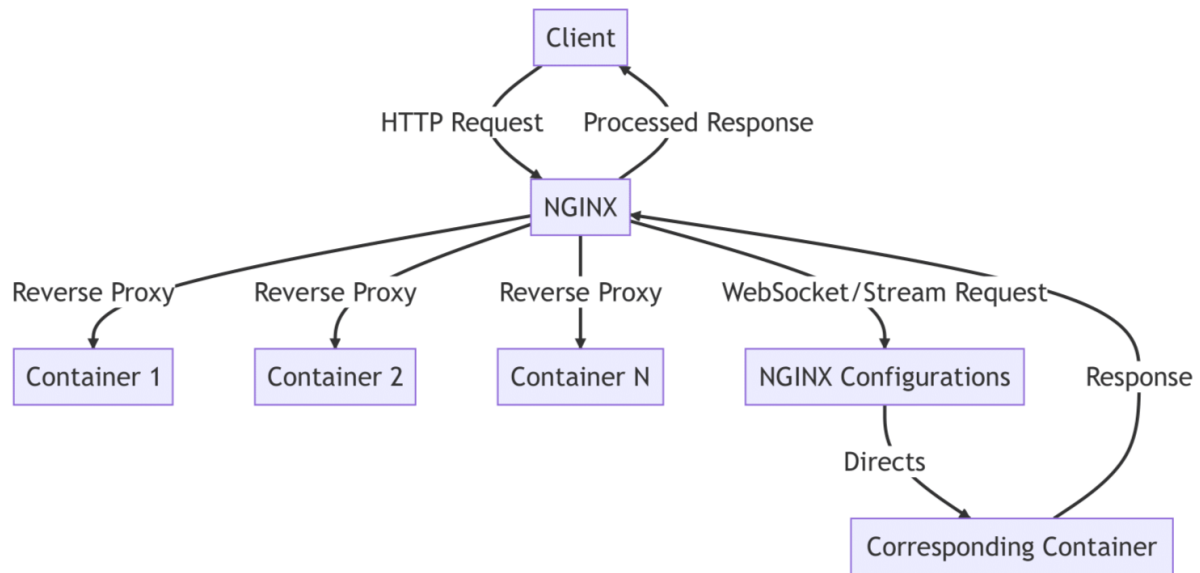


Figura 4.7: NGINX workflow.

fique sobrecarregado. Esta funcionalidade não só melhora a performance geral como também proporciona uma maior disponibilidade do sistema, já que, em caso de falha de um servidor, o tráfego pode ser direcionado a outro que esteja operacional.

Capítulo 5

Implementação

Após o capítulo onde a arquitetura do software foi detalhada, este capítulo é focado em explicar como tal arquitetura foi implementada, pois enquanto o primeiro descreve a estrutura e a organização, este foca nas ações técnicas adotadas para fazer essa estrutura funcionar.

Para uma análise mais estruturada e detalhada, este capítulo foi dividido em seções específicas para cada componente do sistema. São elas:

- **Implementação do banco de dados:** Esta seção abordará os detalhes técnicos do design do banco de dados, esquemas adotados e como as informações são armazenadas e recuperadas.
- **Implementação do módulo de recebimento de dados:** Esta seção detalhará como os dados são recebidos, validados e processados antes de serem armazenados e disponibilizados para os usuários.
- **Implementação da API:** Aqui, a estrutura da API será discutida, passando pelos endpoints fornecidos, a lógica por trás de cada um e as camadas utilizadas.
- **Implementação do módulo de processamento de dados:** É abordado o tratamento dos dados recebidos pelos sensores, e como é feita a análise estatística e agregação que gera as informações apresentadas nos gráficos.

- **Implementação do frontend:** Por fim, a interface com o usuário será discutida, explicando como os dados são estruturados apresentados e apresentados em tela.

5.1 Implementação do banco de dados

Dentro da implementação do sistema, o MongoDB foi usado para armazenar todas as informações do sistema. Este banco de dados não relacional, permitiu uma organização flexível dos dados, facilitando o armazenamento de diferentes dados que podem ser recebidos pelo modulo de recebimento de dados, e facilitando a criação de camadas de processamento. A estruturação dos bancos de dados e suas respectivas coleções foi pensada para facilitar tanto a inserção quanto a consulta de informações.

Em relação à organização dos dados, os seguintes bancos de dados foram criados:

- **Users:** Armazena informações referentes aos usuários. Possui coleções que registram tentativas de login, detalhes pessoais dos usuários e tokens associados a eles.
- **Notification:** Destinado às notificações do sistema. Atualmente, este banco contém apenas notificações associadas aos alertas das máquinas, gerados pelos dados recebidos dos sensores junto com os parâmetros armazenados.
- **Downtime:** Armazena duas coleções, uma com os dados lidos das planilhas de parada das máquinas, e outro com esses dados tratados. Esse banco de dados com essas coleções são apenas para simular como ficaria os dados de parada das máquinas, caso eles fossem inseridos no sistema.
- **Raw Data:** Este banco é dedicado ao armazenamento de dados brutos oriundos de diferentes sensores. Cada tipo de sensor, como os sensores de pressão, tem sua própria coleção, garantindo um agrupamento das informações que facilita a análise.
- **Processed Data:** Como o próprio nome sugere, armazena dados que já passaram por uma etapa de processamento. Assim, dados interpretados de diferentes sensores

são separados em coleções específicas, como os de pressão em uma e os de voltagem em outra.

- **Metadados:** Dedicado à armazenagem de metadados do sistema. Até o momento, a única coleção presente é a "AlertParameter", que reúne parâmetros utilizados para gerar alertas associados a cada sensor.

Com esta estruturação, busca-se não apenas organizar de forma lógica os dados, mas também otimizar operações de consulta e garantir uma expansão simplificada à medida que é necessário armazenar novos dados no sistema.

A implementação do acesso ao banco de dados está detalhada na seção de implementação da API, em 5.4.2.

5.2 Implementação do modulo de recebimento de dados

No processo de implementação do sistema, uma das etapas essenciais foi o desenvolvimento de um módulo destinado ao recebimento de dados provenientes dos sensores IoT. Este recebimento é realizado por meio de uma conexão multicast, uma abordagem eficiente para lidar com a transmissão de mensagens a vários destinatários simultaneamente.

Esse modulo é responsável por estabelecer a conexão multicast para receber os dados, realizar a conversão dos dados recebidos de acordo com o protocolo pré definido, disponibilizar os dados para serem mostrados em tempo real para os usuários conectados, verificar se gera algum tipo de alerta (e se gerar, notificar os usuários sobre isso com a criação de uma notificação), e salvar as informações geradas no banco de dados.

5.2.1 Conexão e recebimento dos dados

A classe `SensorConnection` tem como principal responsabilidade criar um socket, manter-se conectada para receber mensagens e interpreta-las. A estrutura e o funcionamento desta

classe são detalhados a seguir.

A classe `SensorConnection` é iniciada com a criação de um socket IPv4 e UDP:

```
class SensorConnection:
    def __init__(self):
        self.sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
```

Para garantir que o sistema esteja constantemente ouvindo mensagens multicast dos sensores, o método `listen_multicast_messages` foi definido dentro dessa classe. Ele começa com a criação da conexão e inicia o processo de leitura de mensagens, gerenciando ainda possíveis desconexões e reestabelecendo a ligação quando necessário:

```
async def listen_multicast_messages(self, save_data_func):
    self.__create_connection()
    while True:
        await self.__start_read_messages(save_data_func)
        self.sock.close()
        time.sleep(1)
        self.__reconnect()
```

A função `__create_connection` tem o papel de estabelecer e configurar a conexão inicial com o grupo multicast, e dentro do loop infinito é iniciado o recebimento das mensagens com o método `__start_read_messages`. Quando esse método é finalizado a conexão socket é fechada, e em seguida reconectada para depois voltar a fazer a leitura das mensagens. A chamada da função `time.sleep(1)` é utilizada para ter um pequeno intervalo entre uma chamada e outra caso e não realizar uma quantidade muito grande de chamadas caso esteja ocorrendo algum tipo de problema.

A seguir, cada uma das funções chamadas dentro desse método é detalhado.

Método create connection

```
def __create_connection(self):
```

```

self.sock.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_REUSEADDR, 1)

server_address = ('', SENSOR_MULTICAST_PORT)
self.sock.bind(server_address)

multicast_group = SENSOR_MULTICAST
group = socket.inet_aton(multicast_group)
mreq = struct.pack('4sL', group, socket.INADDR_ANY)
self.sock.setsockopt(socket.IPPROTO_IP,
    socket.IP_ADD_MEMBERSHIP,
    mreq)

```

Inicialmente, o socket é configurado para permitir várias conexões em um único endereço. A opção `SO_REUSEADDR` é definida com o valor 1, permitindo que mais de um socket se ligue a um mesmo endereço, o que é especialmente útil em contextos de conexões multicast:

```

self.sock.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_REUSEADDR, 1)

```

Após isso, o socket é vinculado a um endereço e porta multicast específicos. É importante ressaltar que o primeiro argumento na definição do endereço do servidor é deixado vazio. Esta abordagem garante que o sistema esteja conectando-se com todas as interfaces de rede disponíveis, proporcionando uma ampla cobertura de conexão:

```

server_address = ('', SENSOR_MULTICAST_PORT)
self.sock.bind(server_address)

```

Por fim, para se juntar efetivamente ao grupo multicast, algumas etapas são realizadas. O endereço IP multicast é primeiramente convertido para o formato binário com a chamada de `socket.inet_aton`. Em seguida, este endereço e o endereço local (representado por `socket.INADDR_ANY`) são empacotados em uma estrutura de dados por

`struct.pack`. Esta estrutura é usado para especificar ao socket que ele deve se juntar a um grupo multicast em `self.sock.setsockopt`. A opção `IP_ADD_MEMBERSHIP` é definida e a estrutura previamente criada é passada como argumento, concluindo a conexão com o grupo multicast:

```
multicast_group = SENSOR_MULTICAST
group = socket.inet_aton(multicast_group)
mreq = struct.pack('4sL', group, socket.INADDR_ANY)
self.sock.setsockopt(socket.IPPROTO_IP, socket.IP_ADD_MEMBERSHIP, mreq)
```

Essas operações garantem que o socket esteja configurado e conectado ao grupo multicast, pronto para receber mensagens de múltiplas fontes simultaneamente.

Método reconnect

```
def __reconnect(self):
    try:
        self.sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
        self.__create_connection()
    except Exception as e:
        print(f"Error to reconnect: {e}")
```

Em situações em que a conexão com os sensores é interrompida, o método `__reconnect` é chamado para tentar estabelecer novamente a conexão, criando uma nova instância do socket e chamando novamente a função `__create_connection`, detalhada anteriormente.

Método start read messages

```
async def __start_read_messages(self, save_data_func):
    while True:
        try:
            data, address = self.sock.recvfrom(1024)
```



```

        result = self.__parse_multicast_message(data)
        if not type(result) == str:
            await save_data_func(result)
except Exception as e:
    print(f"Error: {e}")
    break

```

Após as configurações realizadas, as mensagens são continuamente lidas e processadas pela função `__start_read_messages`. Durante este processo, cada mensagem é processada pelo método `__parse_multicast_message`, e se estiver no formato correto, é passada para uma função que irá salvar e disponibilizar para API enviar por streaming para os usuários conectados.

Se ocorrer algum problema na execução desse método, ele é finalizado e volta para o `listen_multicast_messages`, onde o socket é fechado e uma nova conexão é estabelecida pelo método `__reconnect`.

Método parse multicast messages

```

def __parse_multicast_message(self, data):
    (machine_type_high, machine_number_low) =
        self.__parse_bytes(data[:2])

    message_type = data[2]

    if message_type == 2:
        return "Request to publish..."

    (physical_quantity_high, sensor_number_low) =
        self.__parse_bytes(data[3:5])

```

```

(data_type_high, meaning_low) =
    self.__parse_bytes(data[5:7])

message_dict = {
    'Machine': {
        'Type': str(machine_type_high)+". "+MACHINE_TYPE[machine_type_high],
        'Number': machine_number_low
    },
    'Type': str(message_type)+". "+ MESSAGE_TYPE[message_type],
    'Sensor': {
        'PhysicalQuantity': PHYSICAL_QUANTITY[physical_quantity_high],
        'Number': sensor_number_low
    },
    'MeaningOfData': {
        'DataType': str(data_type_high)+". "+DATA_TYPE[data_type_high],
        'Meaning': str(meaning_low)+". "+DATA_MEANING[meaning_low]
    }
}

return message_dict

```

Para interpretar e extrair informações da mensagem recebida do multicast, é crucial decodificar adequadamente a mensagem de acordo com o protocolo definido anteriormente. A implementação dessa decodificação é feita pelo método `__parse_multicast_message`. A função auxiliar `__parse_bytes` é utilizada para essa tarefa, dada uma sequência de bytes, a função interpreta os bytes utilizando a ordem big-endian (onde os bytes mais significativos vêm primeiro).

```
def __parse_bytes(self, bytes):
```

```

data = int.from_bytes(bytes, byteorder='big')
high_data = (data >> 8) & 0xFF
low_data = data & 0xFF

return (high_data, low_data)

```

Aqui, `data` contém o valor inteiro dos bytes fornecidos. O byte de ordem superior (High) é extraído deslocando o valor 8 bits para a direita e aplicando uma operação "END"(&), e o byte de ordem inferior (Low) é simplesmente obtido aplicando a operação "END" com 0xFF.

Com a capacidade de interpretar os bytes, a função principal `__parse_multicast_message` pode começar a decodificação:

- Primeiro, ela extrai o tipo de máquina e o número da máquina dos dois primeiros bytes da mensagem.
- O terceiro byte da mensagem é então interpretado como o tipo da mensagem. Se o tipo da mensagem for 2, a função retornará diretamente uma solicitação para publicar.
- Os bytes 4 e 5 são interpretados como o ID do sensor, que contém a quantidade física sendo medida e o número do sensor.
- Os bytes 6 e 7 são usados para extrair o tipo de dados e seu significado.

A informação extraída é então organizada em um dicionário para representação clara e fácil acesso aos componentes individualmente:

```

message_dict = {
    'Machine': {
        ...
    },

```

```

    'Type': ...,
    'Sensor': {
        ...
    },
    'MeaningOfData': {
        ...
    }
}

```

Esta estrutura permite uma representação clara e modular da mensagem decodificada, tornando fácil a integração e utilização em outras partes do sistema. Sendo assim, o retorno do método `__parse_multicast_message` é utilizado como resultado da interpretação da mensagem multicast, e enviado para função recebida como parâmetro, `save_data_func`.

5.2.2 Verificação e disponibilização dos dados

No processo de recebimento dos dados, após abrir a conexão e os dados, é necessário verificar se estão no formato correto, se gera algum alerta, inserir no banco de dados e disponibilizar para os usuários conectados no sistema.

A classe `IotSensorConnection`, que implementa a interface `IotSensorConnectionInterface`, desempenha um papel principal neste módulo. Na sua inicialização, é estabelecida uma ligação com o repositório através da variável `self.__repository`. Além disso, é responsável pela conexão com o sensor é estabelecida por meio do `self.__sensor_connection`, explicada anteriormente na seção 5.2.1.

```

class IotSensorConnection(IotSensorConnectionInterface):
    def __init__(self, repository:SensorsRepository):
        self.__repository = repository
        self.__sensor_connection = SensorConnection()

```

```

def start_connection(self):
    threadManager = ThreadManager()
    threadManager.start_async_thread(self.__start_connection)

    async def __start_connection(self):
        await self.__sensor_connection.
            listen_multicast_messages(self.__handle_iot_data)

```

Ao iniciar a conexão, utilizando o método `start_connection`, é criada uma nova thread por meio da classe `ThreadManager`, explicada em 5.4.2. Esta thread invoca o método `listen_multicast_messages` da classe `SensorConnection` que foi detalhado na seção 5.2.1. É necessário criar uma nova thread pois como esse modulo está junto com a API, e é necessário que os dois processos funcionem ao mesmo tempo, uma nova thread foi necessária para o funcionamento em paralelo de ambos.

Verificação do formato dos dados

Para lidar com os dados recebidos, o método `__handle_iot_data` é passado como argumento para `listen_multicast_messages` (como o argumento `save_func` na classe que existe na classe `SensorConnection`).

```

async def __handle_iot_data(self, sensor_data:dict):
    sensor_model = self.__parse_sensor_data_to_sensor_model(sensor_data)
    await self.__repository.update_current_sensor_value(
        sensor_value = sensor_model.value,
        machine = sensor_model.machine,
        date = sensor_model.date,
        sensor_type = sensor_model.type,
        sensor_number = sensor_model.sensor_number
    )

```

```

def __parse_sensor_data_to_sensor_model(self, sensor_data:dict):
    value = sensor_data["value"]
    machine = str(sensor_data["Machine"]['Number'])
        + sensor_data["Machine"]['Type']
    date = datetime.now()
    data_type = sensor_data["Sensor"] ["PhysicalQuantity"]
    sensor_number = sensor_data["Sensor"] ["Number"]
    return ConnectionModelToParse(
        date=date,
        machine=machine,
        sensor_number=sensor_number,
        type=data_type,
        value=value
    )

```

Este método tem a responsabilidade de receber os dados do sensor e converter para uma classe modelo, denominada `ConnectionModelToParse`, que utiliza o `Pydantic` para validar as informações. A explicação do `Pydantic` é feita na seção 5.4.3.

```

from datetime import datetime
class ConnectionModelToParse:
    def __init__(self,value:float,machine:str,
        date:datetime,type:Datatype,
        sensor_number:int):

        self.value = value
        self.machine = machine
        self.date = date
        self.type = type
        self.sensor_number = sensor_number

```

Após essa transformação, os dados são encaminhados para o repositório. O método `update_current_sensor_value` do `repository` é chamado para checar se o dado recebido gera algum tipo de alerta, salvar no banco de dados, atualizar os dados em memória, e realizar as verificações de notificação.

```
class SensorsRepository:
    def __init__(self):
        self.database = MongoDBIOT()
        self.iot_notification_check = IotNotificationCheck()
        self.__sensor_value = SensorValue()

    async def update_current_sensor_value(self, sensor_type: Datatype,
        sensor_value: float, machine: str, date: datetime,
        sensor_number: int):
        alert_type = await self.__get_alert_type(sensor_value, sensor_type)
        current_value = {"machine": machine,
            "value": sensor_value, "timestamp": date,
            "alert_type": alert_type.value,
            "sensor_number": sensor_number}
        result = await self.insert_value_into_database(current_value,
            sensor_type)
        new_id = result.inserted_id
        iot_data = IotData(
            alert_type=current_value["alert_type"],
            machine=current_value["machine"],
            timestamp=current_value["timestamp"],
            value=current_value["value"],
            id=PyObjectId(new_id),
            datatype=sensor_type,
```

```

        sensor_number=sensor_number
    )

    self.__sensor_value.update_sensor_value_by_type(
        iot_data,sensor_type)

    await self.iot_notification_check.check_iot_notification(
        iot_data)

```

Verificação de alertas

Dentro do método `update_current_sensor_value`, primeiramente é verificado o tipo de alerta gerado com o método `__get_alert_type`. Esse método realiza a leitura do parâmetro de acordo do com tipo do sensor dentro dos metadados do sistema, em que o acesso é explicado em 5.4.1, e com ele verifica o status de alerta.

O status de alerta, definido pela função `get_alert_status`, retorna como `OK` caso o valor do sensor seja menor que 90% do valor definido com parâmetro, retorna como `WARNING` caso esse valor esteja entre 90% e 100%, e retorna como `PROBLEM` caso o valor retornado pelo sensor seja maior que 100% do valor definido como parâmetro

```

def get_alert_status(self,sensor_value:int,
    alert_parameter:int)->AlertTypes:

    parameter = ((sensor_value/alert_parameter)*100)
    if parameter < 90:
        return AlertTypes.OK
    if parameter >= 90 and parameter < 100:
        return AlertTypes.WARNING
    if parameter >= 100:
        return AlertTypes.PROBLEM

```



```

async def __get_alert_type(self, sensor_value:float,
    sensor_type:Datatype)->AlertTypes:
    alert_parameter = await MetadataRepository()
        .get_sensor_alert_value(sensor_type)
    alert_type = self.get_alert_status(sensor_value,alert_parameter)
    return alert_type

```

Registro no banco de dados

Com a verificação dos alertas, todas as informações foram geradas, portanto já podem ser registradas no banco de dados. Para esse registro é usado o método `insert_value_into_database`.

```

async def insert_value_into_database(self, value:BaseIotData, type:Datatype):
    try:
        collection = sensor_name_to_raw_data_collection(type)
        return await self.database.insert_one(IOT_DATABASE,collection,value)
    except Exception as ex:
        print(ex)
        raise ex

```

Esse método utiliza da classe base do banco de dados com operações já definidas para realizar o registro. Dentro do método `update_current_sensor_value` do repositório, o retorno é utilizado para manter o ID registrado em memória, importante para criar o objeto `IotData`, que é enviado para os usuários conectados, via stream, no passo seguinte.

```

current_value = {"machine":machine,
    "value":sensor_value,
    "timestamp": date,
    "alert_type":alert_type.value,
    "sensor_number":sensor_number}

```

```

result = await self.insert_value_into_database(current_value, sensor_type)
new_id = result.inserted_id
iot_data = IotData(
    alert_type=current_value["alert_type"],
    machine=current_value["machine"],
    timestamp=current_value["timestamp"],
    value=current_value["value"],
    id=PyObjectId(new_id),
    datatype=sensor_type,
    sensor_number=sensor_number
)

```

Uma informação importante a se destacar, é que o nome da coleção utilizada pelo método `insert_value_into_database` é definida de acordo com tipo de dado estabelecido, usando a função de ajuda `sensor_name_to_raw_data_collection`, explicada em 5.4.3.

Atualização dos dados em memória

Com o tipo de alerta definido e os dados registrados no banco de dados, é utilizado a classe `SensorValue` para atualizar as informações na memória. Esse processo é feito por meio da chamada `__sensor_value.update_sensor_value_by_type (iot_data,sensor_type)` no método `update_current_sensor_value` do repository.

A classe `SensorValue` é responsável por gerenciar e atualizar os valores em memória. Nota-se que a mesma utiliza o padrão de projeto `Singleton`, assegurando a existência de apenas uma instância desta classe durante todo o ciclo de vida da aplicação, garantindo que so existe uma instancia armazenando as informações dos sensores.

```

class SensorValue(metaclass=Singleton):
    def __init__(self) -> None:
        self.machine_list:list[MachineData] = []

```

```

def update_sensor_value_by_type(self, new_value: IoTData, data_type: Datatype):
    is_new_machine = True

    for machine in self.machine_list:
        if machine.name == new_value.machine:
            is_new_machine = False
            is_new_sensor = True

            for index, sensor in enumerate(machine.sensor_data):
                if sensor.datatype == data_type:
                    machine.sensor_data[index] = new_value
                    is_new_sensor = False
                    break

            if is_new_sensor:
                machine.sensor_data.append(new_value)
                break

    if is_new_machine:
        new_machine = MachineData(name=new_value.machine, sensor_data=[new_value])
        self.machine_list.append(new_machine)

```

No momento de sua inicialização, a classe `SensorValue` inicializa uma lista vazia, `machine_list`, que será responsável por armazenar os valores dos sensores organizados por máquina.

A atualização acontece pelo método `update_sensor_value_by_type`. Este método atualiza o valor do sensor na memória de acordo com seu tipo (`data_type`). O processo de atualização verifica primeiramente se a máquina associada ao sensor já existe na lista. Caso positivo, busca-se pelo sensor específico dentro dos dados da máquina e atualiza-se

seu valor. Se o sensor não for encontrado, um novo é adicionado à lista de sensores da máquina correspondente.

Por outro lado, se a máquina não for encontrada na lista `machine_list`, uma nova instância de `MachineData` é criada e adicionada à lista, contendo as informações da máquina e os dados do sensor recebido.

```
class MachineData(BaseModel):  
    name:str = Field(...)  
    sensor_data:list[IotData] = Field([])
```

Dessa forma, o repositório envia as informações para esse método, e com a verificação adequada, é mantido os dados mais atualizados em memória, e disponível para ser utilizado pela API, possibilitando o acesso em tempo real dos dados dos sensores.

Verificação de notificação

Com o tipo de alerta verificado, a informação salva no banco de dados e o objeto `IotData` montado, a última tarefa do método `update_current_sensor_value` do repository é utilizar o singleton `IotNotificationCheck` para verificar as notificações em relação a operação das máquinas.

A classe `IotNotificationCheck` atua como um controlador de alertas para dados IoT. Ao receber dados IoT, ela verifica o estado do alerta e toma medidas apropriadas, seja adicionando ou removendo máquinas ou sensores da lista de alertas. Essa classe é essencial para monitorar e responder a eventos de alerta em tempo real, garantindo que os usuários associados sejam notificados de quaisquer anormalidades ou eventos importantes detectados pelos sensores IoT.

Por meio do método `check_iot_notification`, a classe verifica o tipo de alerta recebido pelo objeto `IotData`, se a máquina está em estado de alerta e se o sensor específico da máquina está em estado de alerta. Com base nessa verificação, o método toma uma das seguintes ações:

1. Coloca uma nova máquina em estado de alerta.

2. Coloca um novo sensor da máquina em estado de alerta.
3. Remove um sensor da máquina do estado de alerta. Se a máquina tiver apenas um único sensor em estado de alerta, a maquina é removida do estado de alerta

```
async def check_iot_notification(self, iot_data:IotData):
    is_alert_value = self.__is_alert_type_a_new_alert(
        iot_data.alert_type)
    machine_in_alert = self.__is_machine_in_alert_state(
        machine_name=iot_data.machine)
    machine_sensor_in_alert = self.__is_machine_sensor_in_alert_state(
        machine_in_alert,
        iot_data.datatype)

    is_machine_in_alert = machine_in_alert!=None

    if is_alert_value and is_machine_in_alert and (not machine_sensor_in_alert):
        await self.__put_new_machine_sensor_in_alert_state(
            machine_in_alert,
            iot_data.datatype)

    if is_alert_value and (not is_machine_in_alert):
        await self.__put_new_machine_in_alert_state(
            iot_data.machine,
            iot_data.datatype,
            iot_data.timestamp,
            iot_data.alert_type)

    if (not is_alert_value) and is_machine_in_alert and machine_sensor_in_alert:
        await self.__remove_machine_sensor_from_alert_state(
```

```
machine_in_alert,  
iot_data.datatype,  
iot_data.timestamp)
```

O método `__put_new_machine_sensor_in_alert_state` é um método assíncrono privado que tem a responsabilidade de adicionar um novo sensor ao estado de alerta para uma máquina específica. Ele recebe dois parâmetros: `machine_in_alert`, que é uma instância da classe `MachinesSensorAlert` representando a máquina em questão, e `sensor_type`, que é uma instância do tipo `Datatype`, mostrado em 5.4.3, representando o tipo de sensor que deve ser colocado em alerta.

```
class MachinesSensorAlert(BaseModel):  
    id: PyObjectId = Field(default_factory=PyObjectId, alias="_id")  
    machine:str = Field(...)  
    sensors:list[str] = Field([])  
    alert_type:str = Field(...)  
    start_time:datetime = Field(...)  
    sensors_historical:list[str] = Field([])  
    is_in_alert:bool = Field(True)  
  
    end_time:Optional[datetime|None] = Field(None)  
    read_by:Optional[list[str]] = Field([])
```

Importante destacar que dentro dessa instância que é mantida em memória, o atributo `read_by` não é preenchido. Isso acontece pois esse atributo é usado para controlar os usuários que marcaram a notificação como lida, e assim identificar notificações lidas pelo usuário. Portanto, esse atributo é preenchido apenas no banco de dados, pelo módulo de notificações da API, mostrada em 5.4.4.

A primeira etapa realizada por este método é identificar a posição (ou índice) da máquina dentro da lista de alertas `machines_alert` usando o método `index`. Uma vez

obtido o índice, o tipo do sensor é adicionado à lista de sensores em estado de alerta da máquina, representada pelo atributo `sensors`. Além disso, este sensor também é adicionado ao histórico de sensores em estado de alerta da máquina, indicado pelo atributo `sensors_historical`. Finalmente, a máquina atualizada (com o novo sensor adicionado às suas listas de alerta e histórico) é reinserida na lista principal `machines_alert` na mesma posição identificada anteriormente.

Este método, garante que sempre que um novo sensor entra em estado de alerta para uma máquina que já tinha um sensor em alerta, as informações relevantes são adequadamente atualizadas e mantidas em memória, permitindo um acompanhamento em tempo real das condições de alerta de todas as máquinas monitoradas.

```
async def __put_new_machine_sensor_in_alert_state(
    self,
    machine_in_alert: MachinesSensorAlert,
    sensor_type:Datatype):
    index = self.machines_alert.index(machine_in_alert)
    machine_in_alert.sensors.append(sensor_type.value)
    machine_in_alert.sensors_historical.append(sensor_type.value)
    self.machines_alert[index] = machine_in_alert
```

Já o método `__put_new_machine_in_alert_state` é um método assíncrono privado cuja principal função é criar e registrar um novo estado de alerta para uma máquina específica. Este método é invocado quando uma máquina entra em estado de alerta pela primeira vez, o que significa que ainda não está presente na lista de alertas `machines_alert` da classe.

Recebe quatro parâmetros: `machine_name`, que é uma string representando o nome da máquina; `sensor_type`, que é uma instância do tipo `Datatype`, mostrado em 5.4.3, denotando o tipo de sensor que disparou o alerta; `start_time`, uma instância de `datetime` indicando o início do alerta; e `alert_type`, que é uma string representando o tipo de alerta.

Inicialmente, o método cria uma nova instância da classe `MachinesSensorAlert`. Esta nova instância representa o estado de alerta da máquina. A instância é inicializada com o nome da máquina, o tipo de sensor que causou o alerta, uma marca temporal do início do alerta e o tipo de alerta. Além disso, a máquina é marcada como estando em estado de alerta através do atributo `is_in_alert`, que é definido como `True`.

Finalmente, o novo estado de alerta da máquina, representado pela instância `MachinesSensorAlert` recém-criada, é adicionado à lista `machines_alert`.

```
async def __put_new_machine_in_alert_state(self,
    machine_name:str,
    sensor_type:Datatype,
    start_time:datetime,
    alert_type:str):

    new_machine_alert = MachinesSensorAlert(
        machine=machine_name,
        sensors=[sensor_type.value],
        sensors_historical=[sensor_type.value],
        is_in_alert=True,
        start_time=start_time,
        alert_type=alert_type)

    self.machines_alert.append(new_machine_alert)
```

O método `__remove_machine_sensor_from_alert_state` é uma função assíncrona privada projetada para remover um sensor específico do estado de alerta de uma máquina. Ele recebe três parâmetros: `machine_in_alert`, que é uma instância da classe `MachinesSensorAlert` representando a máquina em questão; `sensor_to_remove`, que é do tipo `Datatype` 5.4.3, e identifica o sensor a ser removido; e `end_time`, uma instância de `datetime` que indica o momento em que o sensor foi removido do estado de alerta. Dentro

deste método, inicialmente, as posições do sensor e da máquina são identificadas nas listas apropriadas. O sensor é então removido da lista de sensores em estado de alerta da máquina. Se, após a remoção, a máquina não tiver mais sensores em estado de alerta, ela será removida do estado de alerta, pela chamada do método `__remove_machine_from_alert` caso contrário, apenas o estado do sensor é atualizado, pela chamada de outro método, `__remove_sensor_from_alert_state`.

```
async def __remove_machine_sensor_from_alert_state(self,
    machine_in_alert: MachinesSensorAlert,
    sensor_to_remove:Datatype,
    end_time:datetime):
    index_of_machine = self.machines_alert.index(machine_in_alert)
    index_of_sensor = machine_in_alert.sensors.index(sensor_to_remove.value)

    machine_in_alert.sensors.pop(index_of_sensor)

    if len(machine_in_alert.sensors) == 0:
        await self.__remove_machine_from_alert(index_of_machine, end_time)
    else:
        await self.__remove_sensor_from_alert_state(index_of_machine,machine_in_alert)
```

O método `__remove_machine_from_alert` é outra função assíncrona privada, que tem a responsabilidade de remover completamente uma máquina do estado de alerta. Aceita dois parâmetros: `index_of_machine`, o índice da máquina em questão na lista, e `end_time`, o momento em que a máquina foi removida do alerta. Dentro deste método, a máquina é primeiro marcada como não estando em alerta e depois é removida da lista `machines_alert`. A máquina é então armazenada no banco de dados com um registro de seu estado final e o horário de término. Finalmente, uma notificação é enviada através de um websocket para informar a interface do usuário sobre a mudança no estado da

máquina. O detalhamento de como a notificação é enviada está explicada em 5.4.2.

```
async def __remove_machine_from_alert(self,
    index_of_machine:int,
    end_time:datetime):
    machine_in_alert = self.machines_alert[index_of_machine]
    machine_in_alert.is_in_alert = False
    machineNotification = self.machines_alert.pop(index_of_machine)
    machineNotification.end_time = end_time
    await self.iot_database.insert_one(
        NOTIFICATION_DATABASE,
        IOT_MACHINE_ALERTS,
        machineNotification.to_bson())
    await self.websocket.send_notification(machineNotification)
```

O método `__remove_sensor_from_alert_state` é uma função assíncrona simples que atualiza o estado do sensor de uma máquina em alerta na lista de máquinas em alerta. Recebe dois parâmetros: `index_of_machine`, que é o índice da máquina na lista `machines_alert`, e `machine_alert_updated`, que é a instância atualizada da máquina em alerta. Essencialmente, este método substitui a máquina existente na lista pelo objeto atualizado fornecido como parâmetro pelo método `__remove_machine_sensor_from_alert_state`.

```
async def __remove_sensor_from_alert_state(self,
    index_of_machine:int,
    machine_alert_updated:MachinesSensorAlert):
    self.machines_alert[index_of_machine] = machine_alert_updated
```

5.3 Implementação do módulo de processamento de dados

Como explicado em 4.1.2, o módulo de processamento de dados faz a leitura dos dados brutos do sistema, aplica o cálculo do `boxplot` e armazena o resultado no banco de dados.

5.3.1 Agendamento para execução periódica

O processamento dos dados precisa ocorrer periodicamente, no caso foi definido inicialmente uma vez por dia. Para executar a chamada da função de processamento uma vez ao dia foi utilizado a biblioteca `schedule` [41]. Com essa biblioteca foi agendado para todo dia meia noite a execução da função de inicia a agregação dos dados. Um loop infinito foi criado para manter o código em execução, verificando se a função deve ser executada ou não.

```
import schedule
schedule.every().day.at("00:00").do(aggregation_init)
print(datetime.now(), flush=True)
while True:
    schedule.run_pending()
    time.sleep(1)
```

5.3.2 Identificando a origem dos dados

Dentro desta estrutura, é necessário identificar as coleções corretas das quais os dados devem ser recuperados antes de realizar o processamento. Essa identificação começa pela função `get_tuples_with_raw_data_collections_and_processed_collections()`. Esta função, como o próprio nome sugere, está encarregada de recuperar tuplas relacionando as coleções de dados brutos com suas respectivas coleções processadas. Itera-se sobre todos os tipos de sensores, representados pelo enumerador `Datatype`, explicado em 5.4.3, e para

cada tipo de sensor, identificam-se as respectivas coleções de dados brutos e processados, resultando em uma lista de tuplas.

Importante destacar que os nomes das coleções são recuperados pelas funções de ajuda, explicados em 5.4.3.

```
def get_tuples_with_raw_data_collections_and_processed_collections():
    result:list[tuple] = []
    for sensor_type in Datatype:
        raw_collection = sensor_name_to_raw_data_collection(
            sensor_type)
        processed_collection = sensor_name_to_processed_collection(
            sensor_type)
        result.append((raw_collection,processed_collection))
    return result
```

Para iniciar o processamento dos dados, a função `aggregation_init()` é chamada, obtendo primeiramente a lista de tuplas que relaciona as coleções de dados brutos com as processadas. Após recuperar esta lista, ela inicializa um loop assíncrono, cujo objetivo é executar uma função de agregação até sua conclusão. Esse design assíncrono é necessário para garantir que o processamento possa realizar chamadas de funções assíncronas, dado que esse modulo é separado da API.

```
def aggregation_init():
    tuples_list =
        get_tuples_with_raw_data_collections_and_processed_collections()

    loop = asyncio.new_event_loop()
    loop.run_until_complete(aggregation(tuples_list))
    loop.close()
```

Desta forma, é identificado a origem dos dados, e onde eles devem ser inseridos depois

de processados. Essa informação é passada para a função de agregação para que ela possa ser executada para qualquer dado armazenado.

5.3.3 Iniciando a agregação

Uma vez definida a origem dos dados por meio das coleções identificadas, a fase de agregação dos dados é iniciada. A função responsável por essa tarefa é a `aggregation()`, que aceita uma lista de tuplas representando as coleções de sensores.

```
async def aggregation(sensors_collection_list:list[tuple]):
    database = BaseDB()
    for collection_tuple in sensors_collection_list:
        (raw_data_collection, processed_data_collection) = collection_tuple
        machine_list = await database.read_machines_list(raw_data_collection)

        for machine in machine_list:
            await aggregate_data(
                database,
                raw_data_collection,
                processed_data_collection,
                machine)
```

Dentro desta função, primeiramente, uma instância da base de dados é inicializada usando a classe `BaseDB()`, explicada em 5.4.2. Em seguida, a função itera sobre cada tupla na lista fornecida. Para cada tupla, as coleções de dados brutos e processados são extraídas. Utilizando a coleção de dados brutos como referência, é feita uma leitura da lista de máquinas associadas a essa coleção por meio do método `read_machines_list()`.

```
async def read_machines_list(self, collection:str):
    temp_client = self.client
    return await temp_client[IOT_DATABASE][collection].distinct('machine')
```

Para cada máquina identificada, os dados são então agregados. A função `aggregate_data()` é chamada, passando-se a base de dados, a coleção de dados brutos, a coleção de dados processados e a máquina específica em questão como argumentos. Esta função, por sua vez, é responsável por realizar a efetiva agregação dos dados da máquina, transformando dados brutos em dados processados que serão armazenados na respectiva coleção de dados processados.

Busca dos dados a serem agregados

Inicialmente, um `query` é gerado utilizando a função `get_aggregation_query()`, que usa as informações da coleção agregada e da máquina em questão. Com esta `query`, os dados brutos são então lidos da coleção de dados brutos usando o método `read_raw_data()`.

A função `get_aggregation_query()` é encarregada de gerar a *query* que busca as informações a serem agregadas pelo modulo de processamento. O objetivo dela é que apenas os dados brutos ainda não processados sejam considerados para agregação, otimizando o processo e evitando reproprocessamento desnecessário.

Esta função necessita de uma instância da base de dados, o nome da coleção onde os dados agregados são armazenados e a máquina específica para a qual a agregação é necessária.

```
async def get_aggregation_query(
    database:BaseDB,
    collection:str,
    machine:str)->dict:
    field_to_aggregate = "more_recent_register"
    more_recent_processed_data:BoxPlotData|None =
    await database.read_more_recent_data(
        collection,
        machine,
        field_to_aggregate)
```

```

if more_recent_processed_data is None:
    return __build_query_with_limit_of_data(machine)
else:
    return __build_query_with_range_of_data(
        more_recent_processed_data,
        machine,
        field_to_aggregate)

```

A construção da *query* utiliza duas constantes importantes. `MAX_VALUE_BY_PERIOD` armazena a quantidade maxima de registros que podem ser lidos para a agregação, que nesse caso é a quantidade equivalente a 24 horas de leitura considerando a chegada de dados a cada segundo, ou seja 86400 registros. Já `AGGREGATION_PERIOD_IN_HOURS` armazena a quantidade de horas entre uma agregação e outra, no caso 24 horas, sendo condizente com a constante anterior.

Inicialmente, o campo `more_recent_register` é definido como o atributo a ser buscado. A função `read_more_recente_data()` é então chamada para obter os dados processados mais recentes para a máquina e coleção em questão.

```

async def read_more_recente_data(self,
    collection:str,
    machine:str,
    date_time_field:str):
    try:
        temp_client = self.client
        cursor = temp_client[IOT_PROCESSED_DATA][collection]
            .find({"machine":machine})
            .sort([(date_time_field,pymongo.DESCENDING)])
        result:list = await cursor.to_list(None)
        return result[0] if len(result)!= 0 else None

```

```

except Exception as ex:
    print(ex)
    raise ex

```

Se nenhum dado processado recente for encontrado, a *query* é construída utilizando a função `__build_query_with_limit_of_data()`. Esta função simplesmente limita a quantidade de dados recuperados a `MAX_VALUE_BY_PERIOD` e busca por registros que correspondam à máquina especificada.

```

def __build_query_with_limit_of_data(machine:str)->dict:
    return {
        "limit":MAX_VALUE_BY_PERIOD,
        "query":{"machine":machine}
    }

```

No entanto, se dados processados recentes forem encontrados, o que é esperado, a função a ser utilizada é a `__build_query_with_range_of_data()`. Esta função considera o registro processado mais recente e calcula um intervalo de tempo (`date_limit_to_process_data`) adicionando o período de agregação, definido por `AGGREGATION_PERIOD_IN_HOURS`, à data desse registro mais recente. A *query* gerada busca registros com *timestamps* dentro desse intervalo de tempo e que correspondam à máquina especificada, com um limite máximo de registros definido por `MAX_VALUE_BY_PERIOD`.

```

def __build_query_with_range_of_data(more_recent_processed_data:BoxPlotData,
machine:str,
field_to_aggregate:str)->dict:
    date_of_more_recent:datetime =
        more_recent_processed_data[field_to_aggregate]

    date_limit_to_process_data = date_of_more_recent +
        timedelta(hours = AGGREGATION_PERIOD_IN_HOURS)

```



```

return {
    "query":{
        "timestamp": {
            "$gt": date_of_more_recent,
            "$lte": date_limit_to_process_data
        },
        "machine":machine
    },
    "limit":MAX_VALUE_BY_PERIOD
}

```

Calculo do BoxPlot

Com query montada, os dados são recuperados com a função `read_raw_data`.

```

async def read_raw_data(self, collection:str, query:dict):
    try:
        temp_client = self.client
        cursor = temp_client[IOT_DATABASE][collection].find(
            query["query"])
        .sort([("timestamp",pymongo.ASCENDING)])
        .limit(query["limit"])
        return await cursor.to_list(None)
    except Exception as ex:
        print(ex)
        raise ex

```

A quantidade de dados recuperados é calculada e, se esta quantidade exceder um valor mínimo predefinido `MINIMUM_DATA_TO_AGGREGATE`, a agregação prossegue. Caso não seja

atingindo a quantidade mínima, a função recursiva é finalizada, concluído o processamento dos dados daquela coleção.

`MINIMUM_DATA_TO_AGGREGATE` é um valor constante definido em 100, que garante que existem dados suficientes para serem agregados, evitando a agregação de poucos dados, o que pode comprometer a análise.

Apos a busca da query, um objeto `logger` é inicializado para manter registros do processo de agregação.

Nessa implementação o log é utilizado apenas para mostrar informações no console, mas uma implementação futura pode adicionar uma forma mais completa de logs, como detalhado em 8.3.2.

```
class Logger(metaclass=Singleton):
    async def store_aggregation_log(self,
        box_plot_data:BoxPlotData,
        collection:str):
        print("+++++")
        print("Collection {}".format(collection))
        print("more_recent_register {}".format(box_plot_data.more_recent_register))
        print("median {}".format(box_plot_data.median))
        print("mean {}".format(box_plot_data.mean))
        print("q1 {}".format(box_plot_data.q1))
        print("q3 {}".format(box_plot_data.q3))
        print("lower_quartile {}".format(box_plot_data.lower_quartile))
        print("upper_quartile {}".format(box_plot_data.upper_quartile))
        print("mean_with_selection {}".format(box_plot_data.mean_with_selection))
        print("amount_of_data {}".format(box_plot_data.amount_of_data))
        print("+++++")

    async def not_aggregated_data(self, amount:int, collection:str):
```

```

print("=====")
print("")
print("Amount data not aggregated {} - {}".format(str(amount),collection))
print("=====")

```

Os dados brutos lidos do banco de dados são convertidos em um DataFrame, da biblioteca `pandas` [42] (biblioteca da linguagem python utilizada para manipulação e dados), após o qual são calculados os dados agregados relevantes usando a função `calc_box_plot()`. Esta função retorna os dados em uma forma estruturada adequada para representações gráficas, como um box plot.

Para realização do calculo, diversas funções da biblioteca pandas são utilizadas, como `median`, `quartile`, `mean` e `shape`, o que facilita o entendimento e a realização do calculo.

```

def calc_box_plot(df:pd.DataFrame, machine:str):
    values = df["value"]

    median = values.median()
    mean = values.mean()

    Q1 = values.quantile(.25)
    Q3 = values.quantile(.75)

    IIQ = Q3 - Q1

    lower_quartile = Q1 - 1.5 * IIQ
    upper_quartile = Q3 + 1.5 * IIQ

    selection = (df["value"]>=lower_quartile) & (df["value"]<=upper_quartile)

    values_selected = values[selection]

```

```

mean_with_selection = values_selected.mean()

df['timestamp'] = pd.to_datetime(df['timestamp'])
date_of_more_recent:datetime|str = df['timestamp'].max()

amount_of_data = df.shape[0]

box_plot = BoxPlotData()

box_plot.more_recent_register:datetime = date_of_more_recent

box_plot.lower_quartile=lower_quartile
box_plot.upper_quartile=upper_quartile
box_plot.median=median
box_plot.mean=mean
box_plot.mean_with_selection=mean_with_selection
box_plot.q1=Q1
box_plot.q3=Q3
box_plot.amount_of_data=amount_of_data
box_plot.machine=machine

return box_plot

```

Nessa função, o dataframe recebido contém uma série de valores que será utilizada para calcular os componentes do Box Plot. Primeiro, são determinados os valores da mediana e da média dos dados. Os quartis Q1 (primeiro quartil) e Q3 (terceiro quartil) são calculados utilizando a função `quantile()`, da biblioteca `pandas`. A partir destes quartis, o Interquartile Range (IQR) é determinado como a diferença entre Q3 e Q1.

Para identificar os valores discrepantes, são calculados os limites inferior e superior. O limite inferior é obtido subtraindo-se $1.5 \times IIQ$ de $Q1$ e o limite superior é obtido adicionando-se $1.5 \times IIQ$ a $Q3$. Posteriormente, é feita uma seleção dos valores que estão entre os limites inferior e superior. A média destes valores selecionados é então calculada, resultando em `mean_with_selection`.

A função também se encarrega de converter a coluna `timestamp` para o tipo `datetime` e identificar o *timestamp* mais recente, que será crucial para montagem das buscas nas agregações seguintes.

Com todos os valores calculados, um objeto `BoxPlotData` é instanciado e populado com os componentes do Box Plot, juntamente com informações adicionais, como o número total de dados e a máquina correspondente.

Registro dos dados processados

Após todo o processo descrito, os dados são convertidos em formato JSON e inseridos na coleção de dados agregados pela função `insert_processed_data`.

```
async def insert_processed_data(self, collection:str, data):
    try:
        temp_client = self.client
        await temp_client[IOT_PROCESSED_DATA][collection]
            .insert_one(data)
    except Exception as ex:
        print(ex)
        raise ex
```

Após a inserção bem-sucedida, a função `aggregate_data()` é chamada recursivamente, garantindo que todos os dados brutos relevantes sejam agregados.

No entanto, se a quantidade de dados brutos não atingir o limite mínimo, a função registra essa ocorrência usando o método `not_aggregated_data()`, indicando que os dados não foram agregados devido à falta deles, e finalização a recursão.

5.4 Implementação da API

Como explicado na seção sobre a arquitetura 4.1.3, a API possui uma divisão por módulos, e cada módulo segue uma estrutura pré definida, com uma camada de controller, responsável por receber as requisições HTTP, uma camada de service, responsável por tratar os dados e regras de negócio, e uma camada de repository, responsável por gerenciar o acesso ao banco de dados daquele módulo.

Além disso, a API possui também partes que são comuns a todos os módulos. A infraestrutura que tem a função de disponibilizar uma interface de acesso ao banco de dados, uma interface de acesso para envio de mensagens web socket, os meios de autenticação, e o gerenciador de threads. Os códigos comuns, que armazenam constantes, funções comuns que precisam ser padronizadas, e modelos de dados.

Portanto, essa seção irá abordar cada uma dessas partes, passando primeiro pelas partes comuns do sistema e depois será mostrado como foi desenvolvido um módulo completo.

5.4.1 Inicialização

A inicialização do sistema acontece por meio do arquivo `main.py`, que serve como o ponto de entrada para inicializar a API e o módulo de processamento de dados.

A biblioteca `FastAPI` [25] é utilizada para criar a aplicação principal, aqui referida como `app`. O middleware `CORSMiddleware` é adicionado à aplicação `FastAPI`, permitindo uma configuração de Cross-Origin Resource Sharing (CORS) (Cross-Origin Resource Sharing) abrangente. Esta configuração faz com que a API possa ser acessada por diferentes origens.

A importação do módulo `API_data_layer` não apenas incorpora as rotas relacionadas a esse módulo, mas também inicializa o módulo de recebimento de dados. Isso implica que a inicialização deste módulo ocorre simultaneamente ao carregamento da API, porém em uma thread separada, como detalhado em 5.3.

Para o gerenciamento de metadados, uma instância do `MetadataRepository` é criada durante a inicialização. Este componente é essencial para o carregamento dos metadados

que são utilizados em diferentes partes do sistema, como constantes e parâmetros de alarme.

As rotas da API são então incluídas na aplicação principal através do método `include_router` para diferentes módulos, como autenticação, análise de API, camada de dados, notificações e usuários.

Adicionalmente, o WebSocket é montado na raiz da aplicação através do objeto `socketio_app`, possibilitando a comunicação em tempo real entre o servidor e os clientes. A implementação da conexão websocket pode ser vista em 5.4.2.

A execução do arquivo se conclui com a inicialização do servidor `Uvicorn` [43], definindo o host e a porta para escuta. `Uvicorn` é um servidor ASGI que serve como a interface entre o código da aplicação e o servidor web. Ele é responsável por hospedar a aplicação `FastAPI` e escutar por conexões de entrada no host e na porta especificados. A escolha deste servidor foi pautada na recomendação da documentação do `FastAPI` [44].

```
from fastapi import FastAPI
import uvicorn
from fastapi.middleware.cors import CORSMiddleware
from src.infrastructure.database.metadata.metadata_repository import (
    MetadataRepository)
from src.modules.api_analytics import api_analytics_router
from src.modules.api_data_layer import api_data_layer_router
from src.modules.notifications import notification_module_router
from src.modules.user import user_module_router, auth_router
from src.infrastructure.websocket import socketio_app
from src.infrastructure.websocket import socket_dispatcher
from dotenv import load_dotenv

load_dotenv()
MetadataRepository()
```

```

socket_dispatcher
app = FastAPI()
app.add_middleware(
    CORSMiddleware,
    allow_origins=["*"],
    allow_credentials=True,
    allow_methods=["*"],
    allow_headers=["*"]
)
@app.get("/")
async def health_check():
    return {
        "Status": "OK",
        "Message": "Access /docs to more information"
    }
app.include_router(auth_router)
app.include_router(api_analytics_router)
app.include_router(api_data_layer_router)
app.include_router(notification_module_router)
app.include_router(user_module_router)

app.mount("/", socketio_app)

if __name__ == "__main__":
    uvicorn.run(app, host="0.0.0.0", port=8000)

```


5.4.2 Infraestrutura

A infraestrutura é composta de 4 sub-módulos, Autenticação, WebSocket, Conexão com o banco de dados e Gerenciamento de Threads.

Authetication

A implementação da autenticação do sistema foi baseada na documentação oficial do FastAPI [45], portanto foi adotada uma abordagem baseada em tokens JWT. O JWT é um padrão amplamente aceito para transmitir informações entre partes de maneira segura. A estrutura de um JWT é codificada e pode ser verificada para assegurar que os dados não foram alterados durante a transmissão.

O ponto de entrada para a autenticação é o `o_auth2_password_bearer`, uma instância do `OAuth2PasswordBearer` que é designada para obter o token a partir do cabeçalho da requisição. O método `auth_middleware` foi definido como um middleware assíncrono, que depende deste bearer token. Esse middleware é utilizado nos controllers para verificar se a requisição recebida tem ou não permissão para acessar as informações.

Dentro deste middleware, a função `decode_jwt_token` é invocada para decodificar e validar o token JWT fornecido.

```
o_auth2_password_bearer = OAuth2PasswordBearer(tokenUrl="/user/login")

async def auth_middleware(token:str = Depends(o_auth2_password_bearer))-> TokenPayload:
    try:
        result = decode_jwt_token(token)
        if result.status:
            return result.data
        else:
            raise HTTPException(status_code=401, detail=result.exception.message)
    except JWSError as jwt_err:
        print(jwt_err)
```

```
raise HTTPException(status_code=401, detail=Unauthorized().message)
```

A função `decode_jwt_token` recebe um token como argumento e tenta decodificá-lo usando a chave secreta e o algoritmo especificados. Se o token for decodificado com sucesso e for do tipo "access_token". Caso contrário, diferentes tipos de exceções podem ser levantadas, por exemplo, se o token estiver expirado ou se houver algum erro nas operações de JWT.

```
def decode_jwt_token(token:str)->Result[TokenPayload|None]:
    try:
        token_dict = jwt.decode(token,key=SECRET_KEY, algorithms=ALGORITHM)
        if token_dict["type"] != "access_token":
            return Result(status=False, exception=WrongTokenType(), data=None)
        token_payload = TokenPayload(**token_dict)
        return Result(status=True, data=token_payload, exception=None)

    except ExpiredSignatureError as invalid_token:
        return Result(status=False, exception=Unauthorized(exception=invalid_token), data=None)

    except (JWSError, JOSEError, JWTError, JWSError) as ex:
        return Result(status=False, exception=GenericException(message="Authorization error"), data=None)

    except Exception as ex:
        print(ex)
        raise ex
```

A classe modelo para o payload do token é a seguinte:

```
class TokenPayload(BaseModel):
    name:str
    exp:int|None = None
```

```
sub:str|None = None
user_id:str
type:str = "access_token"
```

A classe `AuthService` é onde a lógica principal de autenticação é implementada. Esta classe segue o padrão *Singleton* para garantir que apenas uma instância seja criada e usada ao longo da execução do programa.

Dentro de `AuthService`, o método `verify_password` é utilizado para verificar se uma senha fornecida coincide com uma senha criptografada, enquanto o `hash_password` é responsável por criptografar uma senha fornecida.

O método `create_user_tokens` gera um par de tokens (access e refresh) para um usuário, onde o access token é válido por 4 horas e o refresh token por 168 horas. O refresh token é especialmente importante para permitir que os usuários obtenham novos tokens de acesso sem ter que inserir suas credenciais novamente. Se o token de acesso expirar, o token de atualização pode ser usado para obter um novo par de tokens, usando o método `get_new_user_tokens`. Importante destacar que o frontend ainda não faz uso do refresh token, ficando essa funcionalidade para uma futura implementação.

```
class AuthService(metaclass=Singleton):
    def __init__(self):
        self.__database__ = MongoDB()
        self.__user_repository = UserRepository()

        self.__ACCESS_TOKEN_EXPIRE_HOURS__ = 4
        self.__REFRESH_TOKEN_EXPIRE_HOURS__ = 168
        self.__SECRET_KEY__ = SECRET_KEY
        self.__ALGORITHM__ = ALGORITHM
        self.__pwd_context__ = CryptContext(
            schemes=["bcrypt"],
            deprecated="auto")
```

```

def verify_password(self,plain_text_password:str, hashed_password:str):
    return self.__pwd_context__.verify(plain_text_password,hashed_password)

def hash_password(self,password:str):
    return self.__pwd_context__.hash(password)

async def create_user_tokens(self, user:User)->tuple[str,str]:
    payload = TokenPayload(name=user.name,user_id=str(user.id))
    access_token = self.__create_bearer_token(
        user_id=user.id,
        data=payload.__dict__,
        expire_hours=self.__ACCESS_TOKEN_EXPIRE_HOURS__)
    refresh_token = await self.__create_refresh_token(str(user.id))
    return (access_token, refresh_token)

async def get_new_user_tokens(self,
    refresh_token:str) -> Result[tuple[str, str]]:
    result = self.__decode_jwt_refresh_token(refresh_token)
    if not result.status:
        return Result(status=False, exception=result.exception, data=None)

    token_payload = result.data
    is_valid = await self.__check_if_refresh_token_is_valid(token_payload)
    if not is_valid:
        return Result(status=False, data=None, exception=Unauthorized())

    user = await self.__user_repository.read_user_by_id(token_payload.user)
    payload = TokenPayload(name=user.name,user_id=str(user.id))

```

```

new_access_token = self.__create_bearer_token(
    user_id=token_payload.user,
    data=payload.__dict__,
    expire_hours=self.__ACCESS_TOKEN_EXPIRE_HOURS__)

return Result(status=True, data=(new_access_token, refresh_token), exception=None)

```

Os métodos `__create_bearer_token` e `__decode_token` são funções auxiliares utilizadas para criar, decodificar e verificar tokens, respectivamente

```

def __create_bearer_token(self, user_id: int, data: dict, expire_hours):
    data_to_encode = data.copy()
    expire = datetime.now() + timedelta(hours=expire_hours)
    data_to_encode["exp"] = expire
    data_to_encode["sub"] = str(user_id)
    return jwt.encode(
        claims=data_to_encode,
        key=self.__SECRET_KEY__,
        algorithm=self.__ALGORITHM__)

def __decode_token(self, token: str) -> dict:
    return jwt.decode(
        token,
        key=self.__SECRET_KEY__,
        algorithms=self.__ALGORITHM__)

```

WebSocket

A implementação da conexão via WebSocket foi feita utilizando a biblioteca `socket.io` [46], que possui diversos recursos prontos que facilitam a gestão de conexões Web Socket,

com por exemplo a criação de salas para disparo de notificações.

A estrutura adotada para a gestão de conexões Web Socket foi feita de forma que o cliente deve efetuar uma requisição websocket ao *endpoint* raiz da API para ser registrado em uma sala virtual específica. Após a validação do token e a conclusão bem-sucedida dessa solicitação, o cliente passa a receber todas as mensagens direcionadas à sala na qual foi cadastrado.

A implementação atual contempla apenas uma sala, destinada especificamente ao envio de notificações relacionadas ao funcionamento das máquinas. Esta sala é identificada pelo identificador `NOTIFICATION_ROOM`. Essa constante armazena o valor "Notification", que é o nome da sala a ser conectada, armazenada justo com as constantes do sistema descrito em 5.4.3.

O modo assíncrono ASGI selecionado para a criação do servidor, e as origens permitidas para *CORS* definidas como vazias.

```
socket_io_server = AsyncServer(async_mode="asgi",
                                cors_allowed_origins=[])

socketio_app = ASGIApp(socketio_server=socket_io_server,
                        socketio_path="")

socket_dispatcher = WebSocketDispatcher(socket_io_server)

@socket_io_server.event
async def connect(sid, environ, auth):
    token = auth["Authorization"]
    await auth_middleware(token)
    socket_io_server.enter_room(sid, NOTIFICATION_ROOM)
```

O objeto `socket_io_server` é responsável por gerenciar a comunicação *WebSocket*,

enquanto o `socketio_app` cria uma aplicação ASGI que interage com o servidor *Web-Socket*, e é adicionado ao servidor FastAPI. Adicionalmente, uma instância da classe `WebSocketDispatcher` foi criada para facilitar o envio de notificações através do *Web-Socket*. Essa configuração é feita na inicialização do sistema, explicado em 5.4.1

No evento de conexão, denominado `connect`, um cliente é automaticamente adicionado à sala `NOTIFICATION_ROOM`.

Por fim, a classe `WebSocketDispatcher` possui um método `send_notification`, que é usado para enviar notificações. Ao chamar este método, a notificação é convertida para o formato *JSON* e enviada para todos os clientes na sala `NOTIFICATION_ROOM` através do método `emit`.

```
class WebSocketDispatcher:
    def __init__(self, socket_io_server: AsyncServer):
        self.__socket_io_server = socket_io_server

    async def send_notification(self,
                               machine_sensor_notification: MachinesSensorAlert):
        machine_sensors_dict = machine_sensor_notification.to_json()
        await self.__socket_io_server.emit(
            NOTIFICATION_ROOM,
            machine_sensors_dict,
            room=NOTIFICATION_ROOM)
```

A classe `WebSocketDispatcher` é utilizada pelo modulo de recebimento dos dados, detalhado em 5.2.2, para disparar notificações quando é identificado um funcionamento inadequado das maquinas.

Gerenciamento de Threads para Tarefas Assíncronas

Na arquitetura do sistema, foi identificada a necessidade de realizar tarefas de forma concorrente, sem bloquear a execução da API. Essas tarefas são a execução do modulo de

recebimento de dados, e a checagem dos metadados do sistema. Ambas tarefas devem ser executadas em paralelo com a execução da API, sem influenciar na sua execução. Portanto, para atingir esse objetivo, um gerenciador de threads, denominado **ThreadManager**, foi implementado.

A classe **ThreadManager** é projetada seguindo o padrão Singleton, assegurando que apenas uma instância seja criada, evitando assim conflitos ou redundâncias no gerenciamento das threads. Uma lista denominada **threads** é inicializada para armazenar todas as threads criadas, enquanto um loop de eventos assíncronos, atribuído à variável **loop**, é criado utilizando a biblioteca **asyncio** [47].

O método **start_async_thread** foi introduzido para facilitar a criação e o gerenciamento de tarefas assíncronas. Este método aceita uma função assíncrona, **func**, como argumento e executa as seguintes operações:

1. Uma função interna **start_function** é definida. Esta função é responsável por iniciar a execução da tarefa assíncrona.
2. Dentro de **start_function**, verifica-se a variável booleana **isSeted** para determinar se o loop de eventos já foi configurado. Caso contrário, o loop de eventos é configurado e a tarefa assíncrona é executada até a conclusão através do método **run_until_complete**.
3. Se o loop de eventos já estiver configurado (**isSeted = True**), a tarefa assíncrona é simplesmente adicionada ao loop existente usando **create_task**.
4. Finalmente, uma nova thread é criada com **start_function** como alvo e adicionada à lista **threads**. A thread é então iniciada, executando a tarefa assíncrona.

```
import asyncio
from threading import Thread

class ThreadManager(metaclass=Singleton):
    def __init__(self):
```



```

        self.threads = []

        self.loop = asyncio.new_event_loop()

        self.isSeted = False

    def start_async_thread(self, func):
        def start_function():
            if not self.isSeted:
                asyncio.set_event_loop(self.loop)
                self.isSeted = True
                self.loop.run_until_complete(func())
            else:
                self.loop.create_task(func())

        new_thread = Thread(target = start_function)
        self.threads.append(new_thread)
        new_thread.start()

```

Esta implementação permite a execução de múltiplas tarefas assíncronas em paralelo, cada uma em sua própria thread, todas gerenciadas pelo mesmo loop de eventos assíncronos.

Database

No processo de implementação do sistema, para estabelecer uma conexão eficiente com o banco de dados foi utilizado a biblioteca **motor** [48] foi adotada como mecanismo.

No centro da estratégia de conexão está uma classe base, denominada **BaseDB**, que tem a responsabilidade não apenas de estabelecer a conexão com o MongoDB, mas também de definir uma série de operações básicas para a manipulação dos dados armazenados. A estrutura dessa classe é apresentada a seguir:

```
import motor
```

```
class BaseDB:
    def __init__(self):
        self.client = motor.motor_tornado.MotorClient(url, port)
```

Algumas das operações fundamentais implementadas por `BaseDB` incluem:

- `insert_one`: Recebe como parâmetros o *database* e a *collection* correspondentes em formato de texto, e a *data* a ser inserida. Insere um documento na coleção especificada.
- `insert_many`: Recebe como parâmetros o *database* e a *collection* correspondentes em formato de texto, e a *data* contendo vários documentos a serem inseridos. Insere vários documentos na coleção especificada.
- `read_data_with_pagination`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection*, a *query*, o *page_number*, o *limit*, o *sort_descending_field* e a *projection*. Recupera dados com paginação, permitindo uma leitura mais organizada.
- `read_data_with_limit`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection*, a *query* e o *limit*. Lê dados com um limite predefinido de documentos retornados.
- `read_data`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection* e a *query*. Realiza uma leitura simples de dados baseada em uma query.
- `get_distinct_property`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection* e a *property*. Obtém propriedades distintas de uma coleção, verificando todos os documentos presentes.
- `list_collections_by_db`: Recebe como parâmetro o *database*. Lista todas as coleções presentes em um banco de dados específico.
- `add_item_into_lists_by_filter`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection*, o *filter*, as *list_properties* e a *new_data*. Adiciona um item em listas específicas baseado em um filtro.

- `update_item`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection*, a *data* a ser atualizada e o *filter*. Atualiza um documento específico.
- `update_many_items`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection*, a *data* a ser atualizada e o *filter*. Atualiza vários documentos que atendam a um filtro.
- `count_documents`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection* e a *query*. Conta o número de documentos em uma coleção que atendem a uma consulta.
- `get_data_between_dates`: Recebe como parâmetros o *database*, a *collection* e a *query*. Recupera dados entre duas datas específicas.

Com a base de acesso estabelecida, outras classes foram desenvolvidas, herdadas de `BaseDB`, para atender contextos específicos do sistema. Essas classes seguem o padrão singleton, o que garante que apenas uma instância da conexão seja criada para um contexto específico, otimizando a gestão dos recursos. Um exemplo é a classe `MongoDBIOT` destinada ao módulo de recebimento de dados:

```
class MongoDBIOT(BaseDB, metaclass=Singleton):
    def __init__(self):
        super().__init__()
```

Classes semelhantes, seguindo o mesmo formato, foram criadas para outros contextos, como o acesso ao banco de dados pela API, garantindo uma estrutura organizada e eficiente de conexão e manipulação dos dados.

5.4.3 Arquivos comuns

Dentro da estrutura da API, uma pasta denominada `common` foi implementada com o intuito de centralizar componentes reutilizáveis, abrangendo múltiplos módulos e camadas. Esta organização foi estabelecida para maximizar a eficiência do desenvolvimento e a consistência do código.

Modelos de Dados

A seção de modelos de dados na pasta `common` abriga diversas classes que definem a estrutura dos dados utilizados. Classes que especificam usuários e dados de sensores estão presentes, e fazem o uso da biblioteca `Pydantic` para definir os modelos e criar validações dos dados.

`Pydantic` [49] é uma biblioteca de validação de dados que adiciona tipagem estática no Python para validar que os dados recebidos correspondem a um determinado formato ou esquema. Quando usada para a construção da API, `Pydantic` contribui para a verificação automática e coerente dos dados enviados por meio de solicitações HTTP, e manipulações realizadas no banco de dados. Esta abordagem reduz a necessidade de codificação manual para validações de dados, acelerando assim o tempo de desenvolvimento e aumentando a robustez do código.

Para exemplificar temos a classe `NotificationSensorResponse`, que é responsável por definir o modelo de dados que é retornado quando a API recebe uma requisição solicitando as notificações de um determinado usuário. Destaca-se o uso do `BaseModel` na sistema de herança, do `Pydantic`, necessário para definir os tipos de retorno dentro do FastAPI. Além disso é utilizado a função `Field`, também do `Pydantic`, para indicar com o três pontos que é um atributo obrigatório de ser informado na construção da classe.

```
class NotificationSensorResponse(BaseModel):  
    data:list[dict] = Field(...)  
    total_count:int = Field(...)
```

Outros modelos de dados importantes são as classes de exceções e uma classe denominada `Result`, responsável pelo tráfego de dados entre as diferentes camadas da aplicação, mostrado na implementação do modulo da API em 5.4.4. Exemplo de classe que define uma exceção do sistema.

```
class CustomBaseException(Exception):  
    def __init__(self, message:str, exception, *args: object) -> None:
```

```

        self.message = message,
        self.exception = exception
        super().__init__(*args)

class GenericException(CustomBaseException):
    def __init__(self,
        message:str = "An error has occurred",
        exception = None) -> None:

        super().__init__(message, exception)

```

Classe `Result` usado para comunicação entre camadas dos módulos do sistema. O `TypeVar` é utilizado para indicar um tipo genérico para o atributo `data` da classe.

```

from typing import TypeVar, Generic
from src.common.models.exceptions.unauthorized import CustomBaseException

T = TypeVar('T')
class Result(Generic[T]):
    def __init__(self, status:bool, data:T|None, exception:CustomBaseException|None):
        self.status = status
        self.data = data
        self.exception = exception

```

Destaca-se também o uso da classe `Singleton`, utilizada quando a existe a necessidade de garantir que apenas uma instância de determinada classe será utilizada.

```

class Singleton(type):
    _instances = {}
    def __call__(cls, *args, **kwargs):
        if cls not in cls._instances:

```

```

        cls._instances[cls] = super(Singleton, cls).__call__(*args, **kwargs)
    return cls._instances[cls]

```

Por último, é destacado a classe `PyObjectId`, utilizada para definir um tipo para o atributo ID das classes que representam modelos do banco de dados. Os métodos definidos para essa classe são usados internamente pelo `FastAPI` e pelo `Pydantic`.

Essa classe é necessária para que o ID possa ser corretamente convertido para texto, e retornado nas requisições. Além disso, o uso dessa classe viabiliza a manipulação do ID quando necessário, deixando a gestão dos identificadores únicos para a aplicação e não para o banco de dados.

```

class PyObjectId(ObjectId):
    @classmethod
    def __get_validators__(cls):
        yield cls.validate

    @classmethod
    def validate(cls, v):
        if not ObjectId.is_valid(v):
            raise ValueError("Invalid object id")
        return ObjectId(v)

    @classmethod
    def __modify_schema__(cls, field_schema):
        field_schema.update(type="string")

```

Funções Helpers

A seção de funções *helpers* na pasta `common` foi construída para conter métodos que sejam comum em diferentes módulos do sistema, evitando a duplicação de código e padronizando o funcionamento.

Um exemplo dessas funções é a conversão de **Datatype**, mostrado na seção sobre constantes 5.4.3, para coleções do MongoDB. O código a seguir ilustra um desses processos:

```
def sensor_name_to_processed_collection(
    sensor_name:Datatype)->str:

    sensor = (sensor_name.name).capitalize()
    return IOT_AGGREGATION_COLLECTION.replace("NAME", sensor)
```

Estas funções são empregadas para determinar os nomes corretos das coleções em de acordo com o tipo de dado a ser tratado e manipulado pelos módulos. Funções como `sensor_name_to_processed_collection` e `sensor_name_to_raw_data_collection` convertem entre nomes de sensores e nomes de coleções.

Adicionalmente, uma série de funções foi desenvolvida para mapear o nome processado da coleção, de volta para o **Datatype** correspondente, mostrado na seção sobre constantes 5.4.3, garantindo uma manipulação de dados mais segura e coerente.

Constantes

Por fim, a seção de constantes armazena uma série de valores fixos que são usados em várias partes do sistema. Isso inclui nomes de bancos de dados, tipos de alertas, salas de websocket, e outros que forem necessários.

Dentre as constantes destaca-se a **DataType**, que é um *enum* que padroniza os tipos de dados que podem ser recebidos dos sensores. Esta padronização é empregada em diversos módulos para assegurar que os dados sejam recebidos, processados, armazenados e retornados de maneira consistente e correta.

```
from enum import Enum

class Datatype(Enum):
```

```
PRESSURE = "PRESSURE"
TEMPERATURE = "TEMPERATURE"
VOLTAGE = "VOLTAGE"
CURRENT = "CURRENT"
SPEED = "SPEED"
ACCELERATION = "ACCELERATION"
DISTANCE = "DISTANCE"
HUMIDITY = "HUMIDITY"
FORCE = "FORCE"
PRODUCTION_COUNTER = "PRODUCTION_COUNTER"
```

5.4.4 Módulos

A API foi estruturada em módulos, cada um com responsabilidade para gerenciar um determinado contexto. Abaixo são listados os módulos desenvolvidos.

1. **IOT Analytics:** Modulo responsável por gerenciar o acesso as informações dos sensores, tanto os dados em tempo real via stream, quanto as informações processadas pelo modulo de processamento de dados, explicado em 5.3.
2. **Notifications:** Modulo responsável por gerenciar o acesso as notificações.
3. **User:** Modulo responsável por gerir as informações dos usuários do sistema, e realização da autenticação explicada em 5.4.2.
4. **Downtime Analytics:** Modulo usado para disponibilizar os dados de teste da paragem das maquinas. Esse modulo alimenta a tela que exhibe as informações de paragem das maquinas.

Cada modulo seguiu um padrão de ter uma camada para o recebimento das requisições HTTP, o `controller`, outra para tratar a requisição de acordo com as regras de negócio, o `service`, e o `repository`, para disponibilizar métodos de acesso e manipulação das informações no banco de dados.

Controller

O controller tem a função de receber as requisições HTTP, enviar as informações recebidas para a camada de serviço, e realizar o retorno adequado, com as informações formatadas, e código HTTP correto.

Para exemplificar o funcionamento do controller, um exemplo específico será apresentado. O seguinte fragmento de código representa o router da API para os dados dos sensores IoT:

```
iot_data_router = APIRouter(tags=["IOT Data"], dependencies=[Depends(auth_middleware)])

service = ServiceIOT()

@iot_data_router.get("/realtime")
async def real_time_iot():
    def get_real_time_data():
        sensor = SensorValue()
        while True:
            time.sleep(1)
            lista_json = [machine.to_json() for machine in sensor.machine_list]
            last_data = json.dumps(lista_json)
            yield bytes(last_data, "utf-8")

    return StreamingResponse(
        get_real_time_data(),
        media_type="application/octet-stream")
```

Neste exemplo, o controller faz uso do `APIRouter` para criar rotas associadas aos dados da IoT. Um middleware de autenticação é aplicado como uma dependência, como mostrado no detalhamento da autenticação em 5.4.2, garantindo que apenas usuários autenticados possam acessar essas rotas. Nesse caso, ao aplicar o middleware na criação

do `iot_data_router`, é garantido que todos os `endpoints` criados a partir dele precisem de autenticação.

Logo abaixo é criada uma instância do serviço que deve ser utilizado pelos `endpoints` para responder as requisições recebidas.

A rota `/realtime` é designada para fornecer dados em tempo real. Uma função interna, `get_real_time_data`, é responsável por coletar esses dados do `SensorValue`, explicado em 5.2. Nesse endpoint, a API pega os valores atuais e retorna uma `StreamingResponse`, que envia os dados em tempo real como um fluxo contínuo.

As outras rotas, como `/machines_in_sensor` e `/graph_info`, operam de maneira semelhante, mas com diferentes responsabilidades. Elas fazem chamadas para a instancia de `ServiceIOT` para recuperar informações específicas e retorná-las ao cliente. Caso ocorra uma exceção ou erro, um `HTTPException` é lançado com um código de status HTTP apropriado e uma mensagem de erro detalhada.

Nesses dois endpoints é importante destacar a especificação do `response_model`, para que ocorra validações automáticas pelo framework antes do dado ser retornado, garantido a consistência nos dados retornados.

```
@iot_data_router.get("/machines_in_sensor", response_model=list[MachinesSensor])
```

```
async def get_machines_in_sensor():
```

```
    result = await service.get_all_machines_processed_info()
```

```
    if result.status:
```

```
        return result.data
```

```
    raise HTTPException(status_code=500, detail=result.exception.message)
```

```
@iot_data_router.get("/graph_info", response_model=list[ProcessedData])
```

```
async def get_graph_info(machine:str, sensor:Datatype, initial_date:datetime, end_date:d
```

```
    result = await service.get_processed_data(
```

```
        machine=machine,
```

```

        data_type=sensor,
        initial_date=initial_date,
        end_date=end_date)

    if result.status:
        return result.data

    raise HTTPException(status_code=500, detail=result.exception.message)

```

Service

A camada de serviço serve para aplicar as devidas regras antes de retornar os dados para a camada de controle 5.4.4. Pode acessar a camada de repositório para realizar a leitura ou escrita de dados, e deve retornar os dados para a camada de controle usando a classe **Result**, mostrada na seção 5.4.3, para que possa ser identificado corretamente o resultado do processamento realizado, e o retorno adequado seja dados para o cliente que realizou a requisição.

Para uma compreensão mais profunda, um exemplo específico da implementação da camada de serviço segue abaixo:

```

class ServiceIOT:
    def __init__(self):
        self.__repository = RepositoryIOT()
        self.__database__ = MongoDB()
        self.appMetadata = MetadataRepository()

    async def get_processed_data(self,
        machine:str,
        data_type:Datatype,
        initial_date:datetime,

```

```

end_date:datetime)-> Result[list[ProcessedData]]:
try:
    alert_parameter = await self.appMetadata.get_sensor_alert_value(
        data_type)

    processed_data = await self.__repository.read_iot_processed_data__(
        machine=machine,
        datatype=data_type,
        initial_date=initial_date,
        end_date=end_date,
        sort_by_field="more_recent_register")

    for data in processed_data:
        data["alert_parameter"] = alert_parameter
    return Result[list[MachinesSensor]](
        status=True,
        data=processed_data,
        exception=None)
except Exception as ex:
    return Result[list[MachinesSensor]](
        status=False,
        data=None,
        exception=GenericException(exception=ex))

```

Nesta implementação, a classe **ServiceIOT** é inicializada com instâncias de **RepositoryIOT** e **MetadataRepository**, permitindo que o serviço acesse as camadas de repositório e metadados correspondentes.

O método `get_processed_data` serve para obter dados processados com base em diversos parâmetros como máquina, tipo de dados e intervalo de datas. Inicialmente,

um valor de alerta é recuperado do metadado do sensor para o tipo de dados fornecido. Posteriormente, os dados processados são lidos do repositório. A cada entrada de dados recuperada, o valor de alerta é adicionado como um novo campo. O método retorna um objeto **Result** encapsulando esses dados. O objeto **Result** é detalhado em 5.4.3.

O método `get_all_machines_processed_info` recupera informações sobre todas as máquinas e sensores processados. Ele itera através das coleções de dados processados, agregando informações de máquinas e sensores. Em caso de sucesso, ele retorna um objeto **Result** contendo uma lista de máquinas e seus sensores correspondentes.

```
async def get_all_machines_processed_info(
    self)-> Result[list[MachinesSensor]]:
    try:
        collection_list =
            await self.__repository.get_processed_data_collections()
        machine_sensors: list[MachinesSensor] = []
        for collection in collection_list:
            machine_list = await self.__repository
                .get_distinct_machines_by_collection(collection)
            sensor = processed_collection_to_sensor_name(collection)

            for machine in machine_list:
                matching_sensor =
                    next((data for data in machine_sensors
                        if data.machine == machine), None)
                if matching_sensor:
                    matching_sensor.sensors.append(sensor)
            else:
                machine_sensors.append(MachinesSensor(
                    machine=machine,
```

```

        sensors=[sensor]))

    return Result[list[MachinesSensor]](
        status=True,
        data=machine_sensors,
        exception=None)
except Exception as ex:
    print(ex)
    return Result[bool](
        status=False,
        data=None,
        exception=GenericException(exception=ex))

```

O último método, `read_raw_data_by_id`, serve para ler dados brutos com base em um identificador e tipo de dados. Ele acessa o repositório correspondente para recuperar os dados e retorna um objeto `Result` contendo esses dados ou uma exceção, se aplicável.

```

async def read_raw_data_by_id(self,
    raw_data_id:str,
    datatype:Datatype) -> Result:
    try:
        collection = sensor_name_to_raw_data_collection(datatype)
        result = await self.__repository.read_raw_data(collection,raw_data_id)
        return Result(status=True, data=result, exception=None)
    except Exception as ex:
        return Result[bool](
            status=False,
            data=None,
            exception=GenericException(exception=ex))

```

Esta implementação exemplifica como a camada de serviço interage com as camadas de repositório e acessa metadados metadados, e como ela prepara os dados para serem enviados de volta ao controller, garantindo assim um fluxo de dados coeso e eficiente através das diversas camadas da aplicação.

Respository

Por fim a camada a camada de repositório é responsável por ter acesso ao banco de dados e realizar as operações de leitura e escrita de acordo com as necessidades. Essa camada instancia uma conexão com banco de dados, e seus métodos utilizam os métodos base definidos pela infraestrutura de conexão com o banco, em 5.4.2, para realizar a operações de acordo com o contexto daquele modulo.

O código a seguir fornece um exemplo da implementação dessa camada:

```
class RepositoryIOT:
    def __init__(self):
        self.__database__ = MongoDB()

    async def get_processed_data_collections(self):
        collection_list =
            await self.__database__.list_collections_by_db(
                IOT_PROCESSED_DATA)

        return collection_list

    async def get_distinct_machines_by_collection(self, collection:str):
        machine_list =
            await self.__database__.get_distinct_property(
                IOT_PROCESSED_DATA,
                collection,
```

```

        "machine")

    return machine_list

async def read_raw_data(self, collection:str, raw_data_id:str):
    result = await self.__database__.read_data(
        IOT_DATABASE,
        collection,
        {"_id":ObjectId(raw_data_id)})

    return result

async def read_iot_processed_data__(self, machine:str, datatype:Datatype,
    initial_date:datetime, end_date:datetime,
    sort_by_field:str) -> list[ProcessedData]:

    try:
        collection = sensor_name_to_processed_collection(datatype)
        query = {
            "machine":machine,
            sort_by_field:{
                "$gte":initial_date,
                "$lte":end_date
            }
        }

        result = await self.__database__.get_data_between_dates(
            IOT_PROCESSED_DATA,
            collection,query)

        return result

```



```
except Exception as ex:
    print(ex)
    raise ex
```

Na inicialização da classe `RepositoryIOT`, uma conexão com o MongoDB é instanciada. O método `get_processed_data_collections` é utilizado para listar todas as coleções de dados processados do banco de dados `IOT_PROCESSED_DATA`. Este método faz uma chamada direta ao método de listagem de coleções fornecido pela classe `MongoDB`.

O método `get_distinct_machines_by_collection` é responsável por recuperar uma lista de máquinas distintas para uma determinada coleção. Ele faz isso através do método `get_distinct_property` do banco de dados.

O método `read_raw_data` serve para ler dados brutos de uma coleção específica, utilizando o ID dos dados como parâmetro de pesquisa. Ele faz uma chamada ao método `read_data` da classe `MongoDB`, fornecendo os parâmetros necessários para a leitura dos dados.

Por fim, o método `read_iot_processed_data__` é utilizado para ler dados processados com base em diversos critérios como máquina, tipo de dados e intervalo de datas. Uma query é construída para esse fim e passada ao método `get_data_between_dates` da classe `MongoDB`.

Cada um desses métodos auxilia na manutenção de uma separação clara de responsabilidades, permitindo que a camada de serviço mantenha um foco estrito na lógica de negócios, enquanto a camada de repositório gerencia as operações do banco de dados.

5.5 Implementação do frontend

A implementação da interface de usuário, foi desenvolvida de acordo com a arquitetura exposta na seção 4.2. O desenvolvimento do *frontend* é segmentado em várias partes, que incluem a organização das páginas do sistema conforme a estrutura pré definida do Next.js [26], o gerenciamento de dados acessados pelos componentes, a configuração para acesso externo, e a construção dos componentes individuais.

É relevante notar que, para manter a conformidade com as melhores práticas e simplificar o desenvolvimento, as configurações padrão do Next.js foram mantidas.

5.5.1 Páginas do sistema

Por se tratar de um framework, o NextJs tem uma estrutura pré definida para criação das páginas do sistema assim como suas rotas [50]. Dentro dos arquivos do framework, a pasta *pages* é utilizada para armazenar cada uma das páginas do sistema, sendo cada arquivo uma página, e o nome do arquivo sendo a rota para acesso. A configuração das páginas ocorre por arquivos com nomes específicos, no caso *__app.tsx* e *__document.tsx*.

Páginas de configuração

Em relação as páginas de configuração temos primeiro a *__app.tsx*. Esse arquivo tem a responsabilidade de configurar e gerenciar contextos, estilização global e a localização de datas, ou seja, aspectos globais de toda a aplicação.

O código começa pela importação de diversos módulos e bibliotecas, o que inclui contextos específicos como `OpenContext` e `PrivateContext`, que são explicados melhor em 5.5.2, e o suporte para localização de datas com `AdapterDayjs` [51].

O `LocalizationProvider` e `AdapterDayjs` são de bibliotecas que têm o objetivo de fornecer funcionalidades de localização e formatação de datas. O `LocalizationProvider` atua como um encapsulador para o sistema de datas, permitindo a integração com diferentes bibliotecas de gerenciamento de datas. Neste caso, o `AdapterDayjs` é utilizado como o adaptador para a biblioteca `Day.js`, permitindo que as datas sejam manipuladas e formatadas de maneira eficiente e compatível com diversos locais geográficos e formatos. Com essas bibliotecas fica mais fácil gerenciar datas para a construção do filtro do dashboard que gerencia o período de datas exibido nos gráficos, explicados em 6.3.

O tipo `NextPageWithLayout` foi definido para enriquecer as propriedades da página com informações sobre o *layout*. Isso permite que cada página tenha um *layout* personalizado se necessário, oferecendo grande flexibilidade no design da interface.

A função principal `App`, que recebe `Component` e `pageProps` como argumentos, é responsável por configurar o *layout* e renderizar os componentes da página. A lógica dentro desta função verifica a rota atual usando `useRouter` [52] para determinar se o usuário está na página de login.

O conteúdo é então encapsulado dentro dos contextos relevantes. Se o usuário estiver na página de login, apenas o `OpenContext` é aplicado. Para todas as outras páginas, o `PrivateContext` é adicionalmente aplicado, garantindo que as informações sensíveis sejam acessadas apenas por usuários autenticados. Os contextos utilizados são detalhados em 5.5.2.

Dentro do `LocalizationProvider`, o adaptador `AdapterDayjs` é utilizado para fornecer funcionalidades de localização de datas, tornando o aplicativo mais versátil em diferentes locais.

```
import {OpenContext, PrivateContext} from '@/context'
import '@/styles/globals.css'
import { LocalizationProvider } from '@mui/x-date-pickers'
import { AdapterDayjs } from '@mui/x-date-pickers/AdapterDayjs'
import { NextPage } from 'next'
import type { AppProps } from 'next/app'
import { useRouter } from 'next/router'
import { ReactElement, ReactNode } from 'react'

export type NextPageWithLayout<P = {}, IP = P> = NextPage<P, IP> & {
  getLayout?: (page: ReactElement) => ReactNode
}

type AppPropsWithLayout = AppProps & {
  Component: NextPageWithLayout
}
```

```

export default function App({ Component, pageProps }:
  AppPropsWithLayout) {

  const getLayout = Component.getLayout || ((page) => page)
  const router = useRouter()
  const isLoginPage = router.pathname === "/"

  const componentWithProps = <Component {...pageProps} />

  return getLayout(
    <LocalizationProvider dateAdapter={AdapterDayjs}>
      <OpenContext>

        {isLoginPage?
          <>{componentWithProps}</>
          :<PrivateContext>
            {componentWithProps}
          </PrivateContext>
        }

      </OpenContext>
    </LocalizationProvider>
  )
}

```

Embora seja um arquivo mais simples comparado ao `_app.tsx`, o `_document.tsx` tem a responsabilidade de definir a estrutura HTML global da aplicação.

No arquivo, foram importados os componentes `Html`, `Head`, `Main`, e `NextScript` da

biblioteca `next/document`. Estes componentes são utilizados para criar a estrutura básica da página HTML dentro do NextJs.

O componente `Html` é utilizado para encapsular todo o conteúdo HTML e inclui o atributo `lang="en"`, o qual define o idioma da página como inglês. O componente `Head` [53] é empregado para adicionar elementos no cabeçalho da página HTML. Neste caso, o título da página é definido como `'Dashboard'`.

O corpo da página HTML é composto pelos componentes `Main` e `NextScript`. O `Main` é o local onde o conteúdo principal da página é inserido, enquanto o `NextScript` é responsável por incluir os scripts necessários para o funcionamento do Next.js.

Vale destacar que o `_document.tsx` não tem acesso a características específicas da página como os métodos `getInitialProps` [54], `getStaticProps` [55], ou `getServerSideProps` [56] (funções do NextJs para carregado de dados do lado do servidor). Isso implica que este arquivo é ideal para configurações que são comuns em todas as páginas e não requerem informações dinâmicas.

```
import { Html, Head, Main, NextScript } from 'next/document'

export default function Document() {
  return (
    <Html lang="en">
      <Head title='Dashboard' />
      <body>
        <Main />
        <NextScript />
      </body>
    </Html>
  )
}
```

Paginas do sistema

As páginas do sistema se dividem em dois tipos, privadas e publica, sendo que publica é apenas a página de login. Essa página pública está no arquivo `index.tsx`, sendo a rota raiz do sistema.

Neste arquivo, apenas configurações `meta` e o componente `Login` são invocados. O elemento `Head` [53] é utilizado para definir configurações globais do HTML, como o título da página e metadados.

O componente `Login` é chamado dentro da tag `main`, que serve como o conteúdo principal da página. Esta abordagem de design mantém a página `index.tsx` enxuta, transferindo a maior parte da lógica e da apresentação visual para o componente `Login`. Este é um exemplo do princípio de separação de interesses, onde cada arquivo ou componente tem uma única responsabilidade claramente definida.

```
export default function Home() {
  return (
    <>
      <Head>
        <title>Catraport Dashboard</title>
        <meta name="description"
          content="Generated by create next app" />
        <meta name="viewport"
          content="width=device-width,
            initial-scale=1" />
        <link rel="icon" href="/favicon.ico" />
      </Head>
      <main>
        <Login/>
      </main>
    </>
  )
}
```

```
)  
}
```

As outras páginas do sistema se encontram dentro da pasta **dashboard**, que também está dentro da pasta **pages**. Isso implica que todas as páginas dentro dessa pasta devem ser acessados na rota **/dashboard** [50].

Dentro do dashboard, existe a página principal, em **/index.tsx**, com a página do dashboard que exibe os dados em tempo real e os gráficos com os dados históricos processados. As funcionalidades dessa página são detalhadas em 6.

Este arquivo segue à mesma lógica de design observada na página de login, mantendo a separação entre as configurações da página e a lógica dos componentes invocados.

O componente **Dashboard** se baseia em composição, delegando diversas responsabilidades a componentes individuais. O componente **DashboardLayout** é utilizado como um contêiner que define a estrutura global da página, oferecendo um layout consistente também para as outras páginas do dashboard. Dentro deste componente, vários outros são chamados para realizar funções específicas.

O **DashboardHeader** é responsável pela exibição do cabeçalho da página, fornecendo o acesso aos filtros para visualização das informações. Segue-se o componente **SensorsValues**, que é designado para mostrar os valores dos sensores em tempo real.

Um elemento **Divider**, da biblioteca **Material UI 5** [29] é inserido para fornecer uma separação visual entre as diferentes seções da página. Por fim, o componente **SensorsGraphs** é invocado para exibir gráficos relacionados aos dados históricos dos sensores de forma agregada.

```
export default function Dashboard() {  
  return (  
    <DashboardLayout>  
      <DashboardHeader/>  
      <SensorsValues/>  
      <Divider/>
```

```

        <SensorsGraphs/>
    </DashboardLayout>
)
}

```

As outras páginas do dashboard também foram construídas usando a lógica de composição demonstrada e utilizando o mesmo componente base para o layout, `DashboardLayout`. Essas páginas são:

1. **Maintenace:** Responsável por exibir os dados de paragem das maquinas em forma de gráficos para demonstrar a visualização dessas informações dentro do sistema, 6.4.
2. **Profile:** Responsável por exibir as informações do usuário que está logado no sistema, assim como permitir realizar alterações nos dados, 6.5.

5.5.2 Gerencia dos dados do sistema

Um dos pontos importantes no desenvolvimento do frontend é o gerenciamento de estados globais, que são informações ou comportamentos compartilhados entre componentes não relacionados. Dentro desse projeto, a `Context API` [57] foi utilizada para este propósito, sendo uma solução nativa do React que se destaca pela sua facilidade de implementação e utilização. Esse recurso permite que dados sejam passados de forma eficiente em toda a árvore de componentes, eliminando a necessidade de passar manualmente propriedades através de níveis intermediários.

Não apenas estados de dados, mas também estados comportamentais, como o estado de login do usuário e o estado do menu lateral (aberto ou fechado), foram gerenciados por meio do `Context API`. A camada de dados foi construída de tal forma que todas as informações necessárias para o funcionamento do sistema, que dependem de um valor global, foram incluídas.

Os contextos criados para o gerenciamento de estados são os seguintes:

1. **SnackbarContext**: Utilizado para o gerenciamento de mensagens e alertas no sistema, facilitando o acesso a função que exibe alertas e sua configuração em todo o sistema.
2. **AuthContext**: Encarregado de gerenciar o estado de autenticação do usuário, 5.4.2.
3. **ThemeContext**: Responsável pela gestão do tema visual da aplicação [58].
4. **NotificationContext**: Utilizado para o gerenciamento, leitura e recebimento de notificações no sistema.
5. **LegacyContext**: Gerencia informações de parada das máquinas, após serem lidas do backend.
6. **IotContext**: Utilizado para o gerenciamento de estados relacionados aos dispositivos IoT no sistema.
7. **DrawerContext**: Encarregado de gerenciar o estado do menu lateral (aberto ou fechado), e disponibilizar em todas as páginas do sistema que utilizam o menu lateral.

Cada contexto foi concebido com uma função específica, de modo a permitir uma separação clara das responsabilidades. Utilizando a arquitetura mostra em X, esse modelo de gerenciamento de dados no frontend fica simples e escalável, como especificado nos requisitos, em 3.1.

Gerencia de diferentes contextos

Para tratar da complexidade gerada pela variedade de contextos necessários no sistema, optou-se por instanciar esses contextos por meio de componentes específicos. Esses componentes foram projetados para encapsular diferentes grupos de contextos, de acordo com as necessidades de acesso.

Dois componentes principais foram desenvolvidos: **OpenContext** e **PrivateContext**. O primeiro é responsável por instanciar os contextos que estão disponíveis para qualquer

indivíduo que acessar o sistema. O segundo é encarregado de instanciar contextos que só podem ser acessados por usuários autenticados. A criação de um contexto é exemplificado melhor em 5.5.2.

Esses componentes são usados no arquivo `__app.tsx`, que é o arquivo de configuração inicial do Next.js, como explicado em 5.5.1, de modo a tornar os contextos acessíveis em toda a árvore de componentes da aplicação.

A seguir, é apresentado o código que ilustra como esses componentes foram implementados:

```
interface Props{
  children:React.ReactNode
}

function OpenContext({children}:Props){
  return (
    <SnackbarContextProvider>
      <AuthContextProvider>
        <ThemeContextProvider>
          {children}
        </ThemeContextProvider>
      </AuthContextProvider>
    </SnackbarContextProvider>
  )
}

function PrivateContext({children}:Props){
  return(
    <>
      <NotificationProvider>
```

```

        <LegacyContext>
            <IoTContext>
                <DrawerContextProvider>
                    {children}
                </DrawerContextProvider>
            </IoTContext>
        </LegacyContext>
    </NotificationProvider>
</>
)
}

```

Desta forma, os contextos são adequadamente isolados e gerenciados, garantindo que os dados e funcionalidades corretos estejam disponíveis para os usuários, de acordo com seu nível de acesso.

Criação de um contexto

Para a criação de um contexto, primeiro é necessário a definição correta dos tipos, mandatório devido ao uso do **Typescript**. Para cada contexto, uma interface de propriedades (**Props**) e um valor padrão (**DEFAULT_VALUE**) são criados.

Para mostrar a criação de um contexto dentro do projeto será usado como exemplo o contexto **DrawerContext**, responsável por gerenciar o estado do drawer da aplicação. O código a seguir exemplifica como este contexto foi criado:

```

import { createContext, useContext, useState } from "react"

interface Props {
    open:boolean
    setOpen:React.Dispatch<React.SetStateAction<boolean>>
}

```

```

const DEFAULT_VALUE = {
  open:false,
  setOpen:()=>{}
}

const DrawerContext = createContext<Props>(DEFAULT_VALUE)

function DrawerContextProvider({ children }: {children:React.ReactNode}){
  const [open, setOpen] = useState<boolean>(false)

  return (
    <DrawerContext.Provider value={{open,setOpen}}>
      {children}
    </DrawerContext.Provider>
  )
}

export default function useDrawer(){
  return useContext(DrawerContext)
}

export {DrawerContextProvider};

```

Neste exemplo, o contexto `DrawerContext` é criado utilizando a função `createContext` do React [57]. A interface `Props` define os tipos para o estado aberto do drawer (`open`) e a função para definir esse estado (`setOpen`). Um valor padrão (`DEFAULT_VALUE`) é estabelecido para inicializar o contexto.

O componente `DrawerContextProvider` utiliza o estado React local para gerenciar o

valor do estado `open`. Este valor e a função `setOpen` são então disponibilizados para todos os componentes filhos por meio do `DrawerContext.Provider`. Dessa forma, o componente `DrawerContextProvider` é usado no gerenciamento dos contexto, como explicado em 5.5.2, para tornar acessível toda a informação para a árvore de componentes inteira.

A função `useDrawer` é uma função personalizada que facilita o acesso ao contexto `DrawerContext` em qualquer parte da aplicação. Dentro do react, funções com o 'use' na frente são denominadas `hooks`, como pode ser visto na documentação oficial em [59].

Dessa forma, o contexto foi criado e pode ser utilizado para gerenciar o estado de aberto e fechado do menu lateral em toda a aplicação.

Esse modelo de criação de criação de contextos se repete para todos os outros contextos, com a adição do acesso ao backend, que é explicado em 5.5.3.

5.5.3 Acesso externo

Para a interação com dados armazenados e gerenciados pelo backend, foi estabelecida uma camada de acesso externo no frontend. Essa camada serve como um ponto centralizado para todas as requisições de rede e é necessário para a leitura e manipulação de dados que estão fora do escopo do frontend, portanto lida com as requisições HTTP, conexão WebSocket e recebimento de dados via stream.

Os diversos contextos criados no sistema, conforme descritos em 5.5.2, utilizam essa camada de acesso externo para carregar os dados necessários. Na inicialização de cada contexto, chamadas de função para esta camada são realizadas, se necessário. Essas chamadas são responsáveis por fazer requisições ao backend e por receber as informações retornadas.

No exemplo abaixo é feito o uso do hook `useEffect` [60] para chamar uma função que acessa a camada de acesso externo para carregar dados referentes aos sensores, sendo eles os dados em tempo real, e dados dos gráficos, assim que o contexto é inicializado.

```
const fetchSensorData = useCallback(async()=>{  
  await Promise.all([
```

```

        getRealTimeDataData(reciveRealTimeData),
        fetchGraphData(),
    ])
}, [])

useEffect(()=>{
    fetchSensorData()
}, [])

```

Requisições HTTP

A biblioteca **Axios** [61] foi empregada para facilitar a realização das requisições ao backend. Esta biblioteca proporciona uma interface simples e eficiente para criação de requisições HTTP, e foi integrada nas funções da camada de acesso externo. Essa biblioteca possibilita uma configuração inicial para ser utilizada em todas as requisições realizadas.

Na configuração utilizada, é lido das variáveis de ambiente do sistema, o endereço do backend e a url para adicionar as configurações a rota base, para onde todas as requisição devem ir. Outra configuração aplicada é a adição do interceptor [62] no momento que a requisição é realizada, adicionando no header a configuração necessária para a autenticação, fazendo a leitura do access token do local storage [63], e adicionando no formato correto para leitura do backend em requisições que precisam de autenticação.

```

const baseUrl = process.env.NEXT_PUBLIC_API_URL
const apiRoute = process.env.NEXT_PUBLIC_API_ROUTE

const baseApi = axios.create({
    baseURL: `http://${baseUrl}${apiRoute}`
});

baseApi.interceptors.request.use(function (config) {

```

```

    let token = localStorage.getItem("access_token")
    if (token) {
        config.headers['Authorization'] = 'Bearer ${token}';
    }
    return config;
}, function (error) {
    return Promise.reject(error);
});

```

As funções dessa camada utiliza essa configuração base para realizar a busca dos dados no backend. Na função abaixo é exemplificado um dessas funções de acesso externo para buscar os dados de um determinado gráfico. A função utiliza a configuração base do **axios** junto com uma url especifica para acesso ao endpoint desejado para buscar as informações. Se o retorno estiver com o **status code** igual a 200 significa que a requisição foi bem sucedida, então os dados são retornados para o contexto que fez a chamada dessa função. O contexto recebe os dados e disponibiliza para toda a aplicação, como explicado em 5.5.2.

```

async function getGraphData(
    machine:string,
    type:SensorType,
    startDate:Dayjs,
    endDate:Dayjs):Promise<Array<MachineGraphAggregateData>>{
    try{
        let url = "/iot/graph_info"+get_graph_query(
            machine,
            type,
            startDate,
            endDate)
        let response = await baseApi.get(url)

```

```

        if(response.status === 200){
            return response.data
        }
        throw("Erro to access graph - "+response.status)
    }catch(ex){
        throw("Erro to access graph - "+ex)
    }
}

```

Conexão WebSocket

Além das requisições HTTP, a camada de acesso externo também gerencia a conexão WebSocket. Especificamente, o contexto de notificações faz uso dessa conexão para receber e gerir notificações em tempo real.

A gestão da conexão WebSocket é realizada por meio da classe *CustomSocketConnection*. Esta classe é projetada como um singleton, garantindo que uma única instância seja criada e reutilizada em toda a aplicação. Ela é responsável por inicializar e manter o objeto *Socket*, que é parte da biblioteca *socket.io-client* [64].

```

class CustomSocketConnection{
    private static _instance:CustomSocketConnection|null = null
    private _socketio: Socket|null = null

    private constructor() {
        if (CustomSocketConnection._instance === null) {
            CustomSocketConnection._instance = this;
        }
    }

    public static getInstance(): CustomSocketConnection {

```



```

    if (!CustomSocketConnection._instance) {
        CustomSocketConnection._instance = new CustomSocketConnection();
    }
    return CustomSocketConnection._instance;
}

get socketio(){
    if(this._socketio===null){
        let token = localStorage.getItem("access_token")
        let url = process.env.NEXT_PUBLIC_API_URL??"localhost"
        this._socketio = io(url, { autoConnect: false, auth: { "Authorization": token } })
    }
    return this._socketio
}
}

```

O método `getInstance()` assegura que apenas uma instância da classe seja criada. Essa instância é armazenada como um atributo estático e é retornada sempre que solicitada.

Uma instância da classe *CustomSocketConnection* é utilizada no contexto de notificações. Através dessa instância, o contexto consegue receber mensagens do servidor, manipulá-las e, em seguida, disponibilizá-las para toda a aplicação.

A classe também inclui um mecanismo de autenticação. O token de acesso é recuperado do armazenamento do local storage [63] e é utilizado como parte do cabeçalho de autenticação durante o processo de conexão.

Dentro do contexto de notificações, o atributo `Socket` da classe é utilizada na inicialização do contexto para realizar a conexão. A instancia da classe é armazenada em uma constante, e em seguida três funções são cadastradas em eventos de conexão, recebimento de notificação e desconexão. A função que trata o evento de receber uma nova notificação,

envia o dado para uma função auxiliar que tem o objetivo de analisar o dado recebido e atualizar a lista de notificações que aparecem na tela.

```
useEffect(() => {
  const socket = CustomSocketConnection.getInstance()
  function onConnect () {
    console.log('Connected with id: ${socket.socketio.id}');
    console.log('Connection Status: ${socket.socketio.connected}');
  }

  function newNotification(data:any){
    console.log("Socket Io Notification", data);
    checkNewNotification(data);
  }

  function disconnect(data:any) {
    console.log("Socket Io disconnect", data);
    console.log("Connection Status");
  }

  socket.socketio.on('connect', onConnect);
  socket.socketio.on('Notification', newNotification);
  socket.socketio.on('disconnect', disconnect);

  return () => {
    socket.socketio.off('connect', onConnect);
    socket.socketio.off('Notification', newNotification);
    socket.socketio.off('disconnect', disconnect);
  };
};
```

```
}, [notifications]));
```

Dessa forma a camada de acesso externo disponibiliza um meio de conexão Web Socket para ser usado para receber novas notificações enquanto o usuário está conectado ao sistema.

Recebendo dados via Stream

Em relação a camada de acesso externo, o último tipo de conexão é o recebimento de dados via stream. Este mecanismo permite a atualização constante dos dados recebidos, garantindo assim um fluxo contínuo de informações atualizadas para a aplicação. Especificamente, essa conexão é usada para disponibilizar os dados dos sensores que são recebidos no backend, como explicado em 5.2.

O recebimento de dados via stream é implementado usando a função *fetch* [65], nativa do JavaScript. Essa função é responsável por realizar a requisição ao endpoint correspondente e obter o fluxo de dados em tempo real.

A função `readStream` é utilizada para interpretar os dados do stream. Essa função recebe o leitor do corpo da resposta, e retorna os dados convertidos para o formato JSON.

```
async function readStream(  
  reader:ReadableStreamDefaultReader<Uint8Array> | undefined) {  
  let result = await reader?.read()  
  if (!result?.done) {  
    let value = result?.value  
    if(value){  
      const jsonData = parseBytesToJson(value)  
      return jsonData  
    }  
  }  
  return false
```

```
}
```

A função `getRealTimeDataData` é a responsável por iniciar o processo de streaming de dados. É nessa função que o contexto de dados dos sensores IoT faz a chamada e, conseqüentemente, recebe e envia os dados para a função recebida como parametro.

Como a função não faz o uso da estrutura do axios explicado em 5.5.3, é necessário realizar a configuração de autenticação da mesma que foi explicado anteriormente na estrutura.

Após realizar a requisição, o leitor dos dados é lido do corpo da resposta da requisição, e passado para a função `readStream`, explicada anteriormente, para ser interpretada e convertida para JSON.

```
async function getRealTimeDataData(setData: UpdateDataFromStream) {
  try{
    let token = localStorage.getItem("access_token")
    let url = baseApi.getUri()
    let response = await fetch(`${url}/iot/realtime',{headers:{
      Authorization: 'Bearer ${token}',
      'Content-Type': 'application/json',
    },});

    const reader = response?.body?.getReader();
    let result:Array<MachineRealTimeData>|boolean = await readStream(reader)
    if(typeof(result) === "boolean"){
      throw "Error to read stream data"
    }
    do{
      if (Array.isArray(result)) {
        const typedResult = result as MachineRealTimeData[];
        setData(typedResult);
      }
    } while (true);
  }
}
```

```

    }
    result = await readStream(reader)
  }while(result!==false)
}catch(ex){
  console.error(ex)
  throw ex
}
}
}

```

A função `getRealTimeDataData` fica sendo executada enquanto a conexão está aberta e não ocorre nenhum erro. O método `setData` é então chamado para enviar o resultado da leitura para o contexto que realizou a chamada da função.

Dentro do contexto de dados dos sensores IOT, a função `setData` passada como parâmetro, apenas atualiza o estado global para atualizar a informação em todos os componentes que fazem uso dela.

5.5.4 Construção dos componentes

Na implementação do sistema, foi utilizada a lógica de construção de componentes [66] para compor a telas. A modularidade e reutilização de código são fatores críticos que motivam essa escolha.

Os componentes acessam dados diretamente dos contextos, conforme discuto em 5.5.2. Este método facilita a passagem de dados e permite que os componentes sejam mais específicos em sua função, além de evitar a passagem de muitas propriedades na árvore de componentes.

A base para os componentes menores foi extraída da biblioteca Material-UI Version 5 (MUI5) [29]. Isso inclui elementos como botões, contêineres, caixas de texto e outros. Um exemplo prático é o menu lateral nas páginas do dashboard, onde o componente `Drawer` do MUI5 foi empregado.

Um componente que merece destaque é o **Grid** do MUI5 [67]. A utilização do Grid permitiu uma organização espacial dos elementos da interface do usuário de maneira simples. Esse sistema de grid oferece uma abordagem flexível para alocar espaço, alinhar conteúdo e lidar com variações de tela, o que é especialmente útil em aplicações web com muitas informações e diferentes componentes em tela. No menu lateral por exemplo, foi utilizado o componente **Grid** para organizar as informações do menu e definir o posicionamento de acordo com o estado de aberto ou fechado.

```
<Grid
  container
  direction="column"
  justifyContent="space-between"
  alignItems={open?"center":"start"}
  height={"97vh"}
>
  <Grid
    container
    item
    direction="column"
    justifyContent="space-between"
    alignItems={open?"center":"start"}
  >
    // Conteúdo
  </Grid>
</Grid>
```

O uso do Grid, portanto, contribuiu para a coesão do layout, fornecendo uma estrutura sólida sobre a qual outros componentes poderiam ser organizados de forma simples, e fácil de entender, cumprindo requisitos de facilitar a manutenção especificado em 3.1.2.

Por outro lado, para a construção dos gráficos, a biblioteca Recharts foi utilizada. O

gráfico mostrado no dashboard com a informações geradas pelo modulo de processamento, detalhado REF 5.3, é composto por gráficos Scatter, Area, Bar e Line, permitindo assim uma análise multifacetada das informações geradas.

Para componentes que necessitam de manipulação de datas, a biblioteca **Days Js** [51] foi integrada. Um caso de uso é o componente de filtro de data para exibição de gráficos, que também emprega o **DatePicker** [68] do MUI5 para uma interface de usuário mais intuitiva. A biblioteca **Days Js** facilita a manipulação da entrada e saída de dados de data.

```
<DatePicker
value={dateFilter.startDate}
onChange={(value)=>onChangeDate(value, "startDate")}
label="Data inicial"
/>

const onChangeDate = (newDate:Dayjs|null,
dateField:"startDate"|"endDate")=>{
  if(newDate!==null){
    setIsDataUpdated(false)
    if(dateField==="endDate"){
      setDateFilter(oldValue=>({...oldValue,"endDate": newDate}))
    }else{
      setDateFilter(oldValue=>({...oldValue,"startDate": newDate}))
    }
  }
}
```


Capítulo 6

Características do Sistema do ponto de vista funcional

Após o detalhamento dos requisitos, da arquitetura escolhida para o sistema, das tecnologias utilizadas no projeto e do detalhamento da implementação de cada componente do sistema, esse capítulo é voltado para as funcionalidades que compõem a aplicação. O projeto abrange diversas componentes, incluindo uma camada de frontend, uma camada de backend, um módulo de recebimento de dados, um módulo de processamento de dados e o banco de dados, portanto, este capítulo tem como objetivo detalhar o funcionamento de cada funcionalidade do sistema, fornecendo uma visão abrangente de como cada componente interage e contribui para a operação do sistema como um todo.

Cada seção deste capítulo se dedicará a uma funcionalidade específica, examinando seu papel e operação em profundidade, bem como a interação entre diferentes componentes do sistema para sua realização.

6.1 Monitoramento em tempo real

No dashboard de interface do usuário são apresentados cartões individuais correspondentes a cada máquina monitorada, na figura 6.1 pode ser visto essa página com um cartão da máquina 5. `MACHINE_STAMPING`. Em cada cartão, informações dos sensores são exibidas

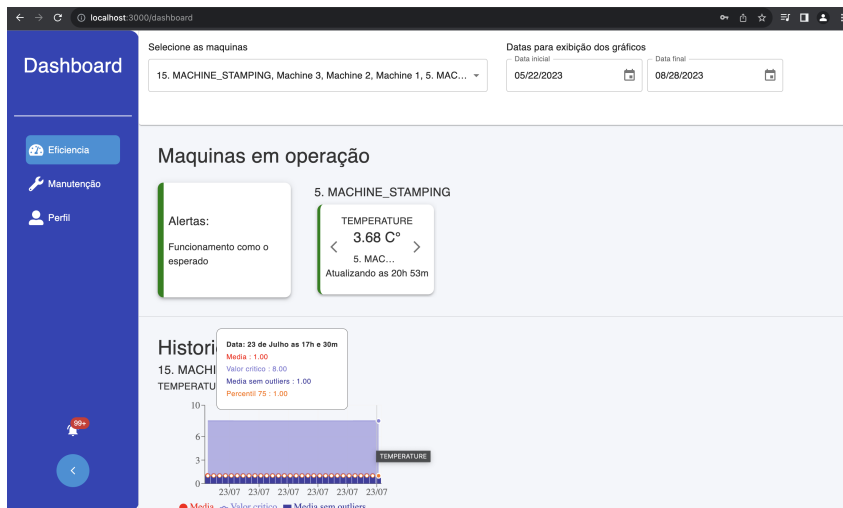


Figura 6.1: Dashboard with real time and graph data.

com a possibilidade de navegar entre elas com uma seta direcional. O cartão pode ser visto na figura 6.2.

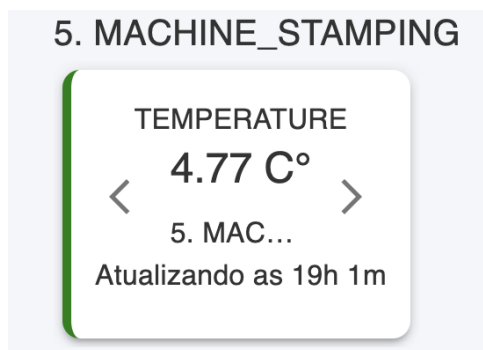


Figura 6.2: Card with machine data.

A obtenção desses dados em tempo real é efetuada através de um fluxo contínuo de dados por *streaming*. O frontend da aplicação faz uma requisição ao endpoint `iot/realtime`, o qual retorna esse fluxo de dados em tempo real. A disponibilização dessa informação ocorre como explicado em 5.5.3.

Na camada de backend, o fluxo de dados é constantemente alimentado pela classe `SensorValue`, que por sua vez, é atualizada pelo módulo de recebimento de dados. Ao receber novas leituras dos sensores, o módulo executa validações apropriadas antes de atualizar os valores na classe `SensorValue`, como explicado em 5.2. Uma vez atualizada,

a API acessa esses novos valores e os insere no fluxo de dados transmitido ao usuário conectado.

6.2 Alertas e notificações

Esta funcionalidade tem como principal objetivo monitorar o desempenho das máquinas em tempo real e emitir alertas e notificações aos usuários caso sejam detectadas condições de operação inadequadas. Isso permite que ações corretivas sejam tomadas de forma imediata.

Sempre que uma nova leitura de sensor é recebida pelo módulo de recebimento de dados, uma validação é realizada para verificar se a máquina está operando dentro dos parâmetros aceitáveis. Esses parâmetros são obtidos através dos metadados do sistema, carregados na inicialização da API, explicado em 5.4.1.

Se um valor fora do intervalo aceitável é identificado durante a validação, o módulo de recebimento de dados insere uma marcação especial nessa leitura dentro da classe **SensorValue**. Essa marcação é posteriormente transmitida ao frontend durante o processo de transmissão de dados via *stream* pelo modulo **IOT Analytics** da API, como explicado em 5.4.4.

Ao receber uma leitura marcada, o frontend atualiza o cartão de informação correspondente para refletir o estado anômalo. Especificamente, dentro do dashboard mostrado na figura 6.1, a cor do cartão é alterada para vermelho ou amarelo, tanto nos cards individuais, figura 6.2, quanto no card geral que é usado para mostrar o status geral das maquinas, figura 6.3, portanto, servindo como um alerta visual imediato para o usuário.

O módulo de recebimento de dados, 5.2, mantém o controle do estado operacional de cada máquina que está enviando informações. Quando uma máquina sai de um estado de alerta, a ocorrência é registrada no banco de dados, com data de início e término do estado de alerta, junto com as informações referentes ao sensor e à máquina envolvida, como explicado em 5.4.2. Posteriormente, uma mensagem é enviada aos usuários conectados utilizando a interface de *WebSocket*, informando-os do mau funcionamento da maquina

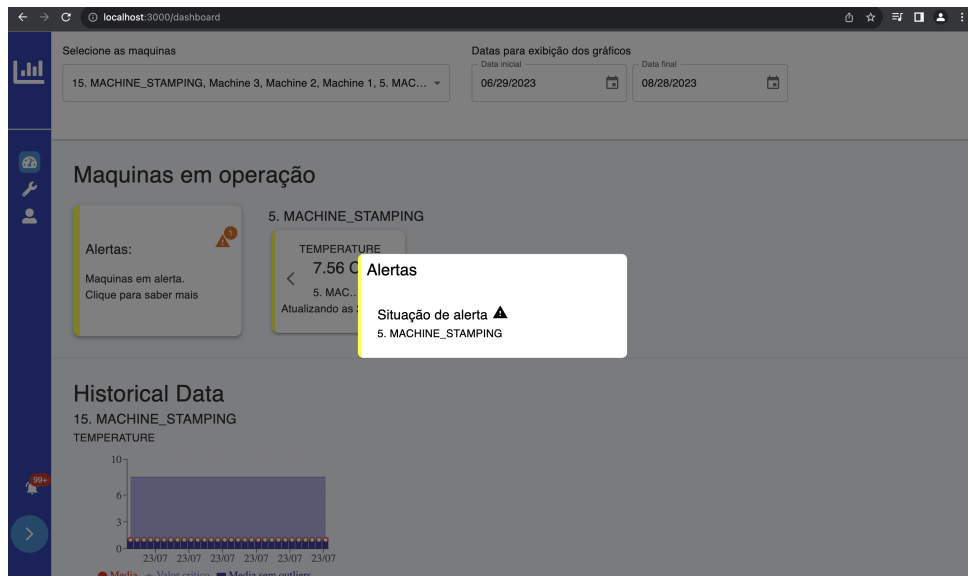


Figura 6.3: General Notifications.

durante o período registrado pelo sistema.

As informações sobre a finalização de alertas podem ser acessadas pelos usuários através de notificações na interface do sistema, como pode ser visto na figura 6.4. Ao clicar no ícone de notificação no menu lateral do *dashboard*, o usuário pode visualizar essas notificações.

Portanto, ao iniciar uma sessão no sistema, as notificações anteriores são carregadas para o usuário. Além disso, qualquer nova notificação gerada durante a sessão do usuário é transmitida em tempo real por meio de uma conexão *WebSocket* estabelecida entre o frontend e o backend, como explicado em 5.4.2.

6.3 Análise estatística de dados históricos

O módulo de processamento de dados é responsável pela análise estatística dos dados históricos. Seguindo o parâmetro padrão do sistema, todos os dias à meia-noite, os dados brutos não processados são lidos e analisados. O resultado da análise é então armazenado no banco de dados para consultas futuras, como explicado em 5.3.

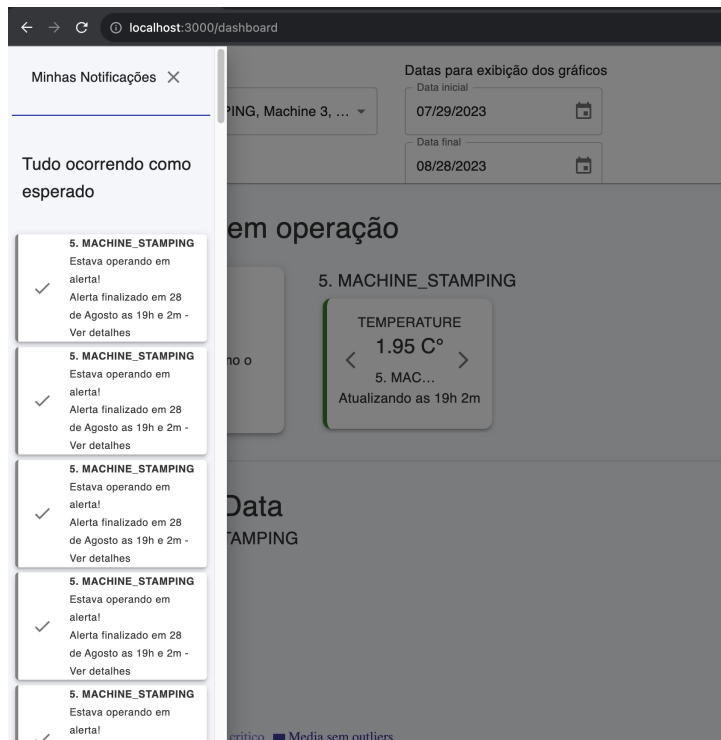


Figura 6.4: Notification drawer.

A possibilidade de acessar esses dados analíticos é providenciada pela API, especificamente pelo módulo "IOT Analytics". A requisição para obter essas informações deve ser autenticada, conforme descrito na seção 5.4.4.

A representação visual dessas análises é efetuada por meio de gráficos que agregam quatro métricas principais resultantes do processamento. Dessa forma é exibido no gráfico:

- *Valor Ideal*: Representado em um gráfico de área, serve como um parâmetro de funcionamento ideal para fornecer uma perspectiva relativa aos outros dados.
- *Percentil 75*: Exibido em um gráfico de linha, esta métrica oferece uma visão sobre a distribuição dos valores durante o período de agregação e sua evolução ao longo do tempo.
- *Média da Agregação*: Representada em um gráfico de dispersão, esta métrica fornece o valor médio dos dados agregados.

- *Média com Remoção de Outliers*: Ilustrada em um gráfico de barras, esta métrica é calculada após a remoção dos valores *outliers*, conforme determinado pelo método de construção do boxplot.

Portanto, a imagem 6.5 mostra como fica a visualização dessas informações dentro do dashboard.

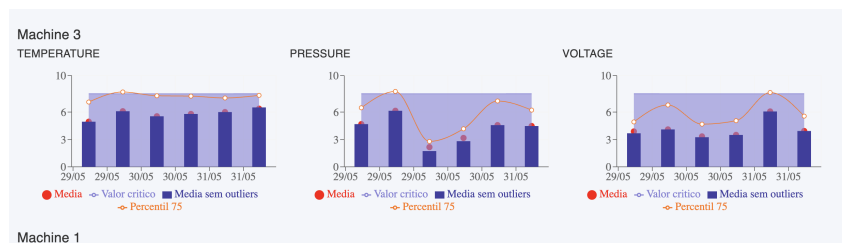


Figura 6.5: Graph example.

A visualização desses gráficos pode ser filtrada por data, podendo ser selecionada a data inicial e a data final que os dados devem ser exibidos. Quando esses campos são alterados e o botão "aplicar filtro" é clicado, uma nova requisição é enviada e os dados são carregados de acordo com o período especificado. Por padrão, quando a página é carregada pela primeira vez, o sistema envia a requisição buscando os dados dos últimos 30 dias, e cabe ao usuário usar o filtro para visualizar um período diferente. O filtro por data pode ser visto na figura 6.6.

6.4 Exibição dos dados referente a paragem das máquinas

Esta funcionalidade é dedicada à exibição de dados relacionados às paragens das máquinas, armazenados previamente no banco de dados. A funcionalidade tem o objetivo de demonstrar como seriam apresentados esses dados, caso fossem recebidos pelo sistema de forma similar aos dados dos sensores. A fonte dos dados para a elaboração desses gráficos provém de três planilhas recebidas no início do desenvolvimento do projeto, em que as

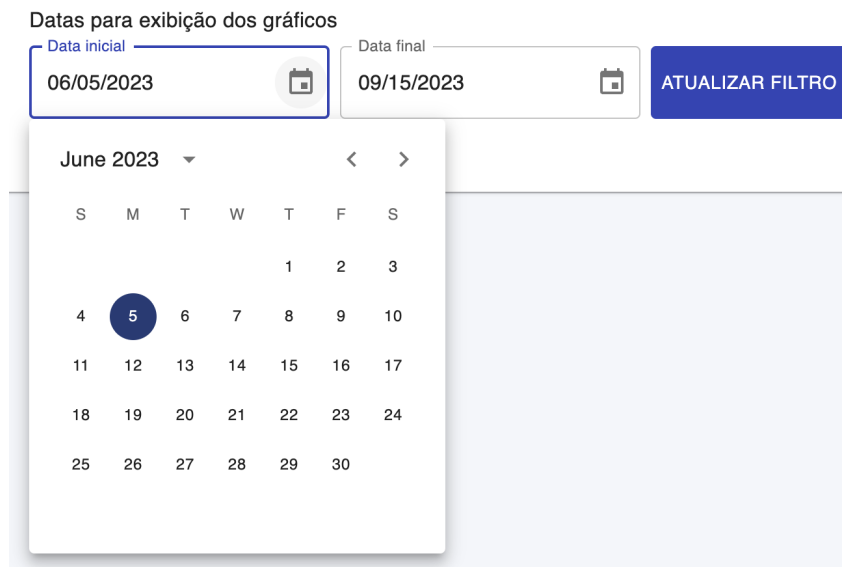


Figura 6.6: Date filter.

informações foram salvas no banco de dados. Esses dados são acessados pelo frontend por meio do módulo `downtime_analytics` da API.

Os gráficos gerados para representar esses dados são apresentados na forma de gráficos de coluna. Cada gráfico exibe um título correspondente à planilha da qual os dados foram extraídos. A legenda do gráfico indica a porcentagem que cada parada específica representa em relação ao total de paragens.

Os gráficos de coluna fornecem uma maneira eficaz de comparar as diferentes paragens das máquinas, como pode ser visto na figura 6.7. Esta visualização oferece um meio para analisar a eficiência operacional, identificar possíveis áreas para melhoria e acompanhar o resultado das ações tomadas em relação a paragem das máquinas e a manutenção preditiva.

6.5 Perfil de usuário

A funcionalidade de perfil de usuário foi desenvolvida com o objetivo de fornecer aos usuários acesso aos seus dados pessoais armazenados no sistema. Além da visualização dessas informações, esta tela permite também a realização de modificações, incluindo a

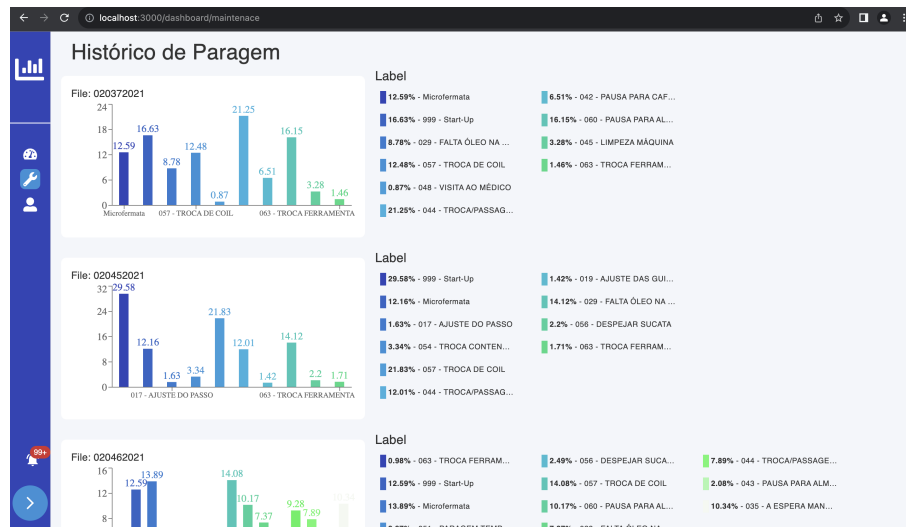


Figura 6.7: Downtime graph.

alteração de senha, e-mail e outros dados pessoais como nome, sobrenome e descrição.

Para ler e modificar os dados apresentados, o módulo *User* da API é utilizado. Este módulo disponibiliza endpoints que permitem o acesso e a modificação dos dados armazenados, garantindo que as informações sejam atualizadas conforme as interações do usuário, como pode ser visto na figura 6.8.

Um recurso adicional fornecido por esta tela é a opção de logout. Ao selecionar esta opção, todas as informações armazenadas do lado do cliente são apagadas, efetuando assim a saída segura do usuário do sistema.

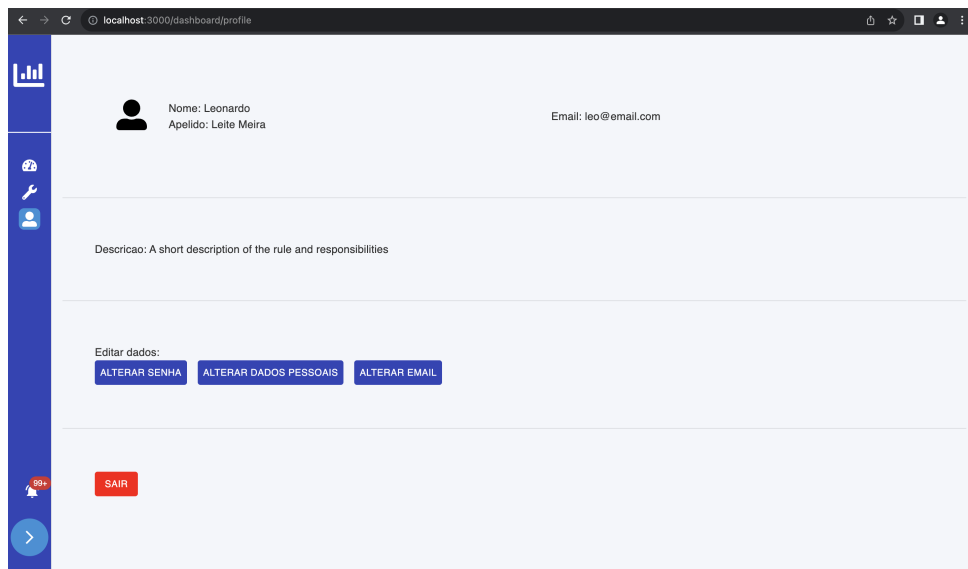


Figura 6.8: Profile page.

Capítulo 7

Results and Evaluation

In this chapter, an evaluation of the developed system will be presented, focusing on its benefits and competitive advantages, as well as the results of tests and validations carried out. The system can be modified in such a way that it can be adapted to other contexts, where information generated by sensors needs to be visualized in real time, and where the processing and analysis of historical data are required.

The implementation of this system can assist in the quicker identification of production problems, thanks to real-time monitoring. In addition, the insights generated by the historical data analysis can be instrumentalized to optimize production processes [69].

The adoption of a system like this represents a competitive advantage, potentially raising the company's efficiency in relation to the competition [70]. However, it is important to note that the software has not yet been implemented in a production environment, and therefore, there is an unmapped set of improvements that must be made for the system to operate as effectively as possible.

7.1 Benefits

A series of benefits is offered by the developed system. Firstly, comprehensive monitoring of machines throughout the industrial plant is facilitated. Through this monitoring, crucial information about the operational status of each machine is displayed to employees

in real time.

Additionally, the system provides the ability to take quicker actions in case of operational issues, and as a result, the downtime of machines can be reduced, mitigating losses associated with production.

Another advantageous aspect lies in the evaluation of the effectiveness of the implemented maintenance measures. Through historical tracking, the system allows for the visualization of the effects of actions taken for machine maintenance, thus, more informed and effective decisions can be made quickly, extending the benefits to other machines in the plant.

Finally, the system's historical data also contributes to the generation of insights from its analysis. This analysis can provide a new perspective for monitoring machine performance, and operational anomalies can be identified and specific corrective measures can be implemented to improve certain indicators.

7.2 Competitive Advantages

The developed system offers a set of competitive advantages that are mainly manifested when contrasted with companies that do not implement a similar solution. Initially, the lack of an adequate monitoring system can result in operations below the efficient potential for a company. This scenario generates additional costs in maintenance, equipment loss, and even waste of raw materials.

On the other hand, the implementation of a robust monitoring system provides benefits to the efficiency of production, maintenance, and development of products and services. Real-time monitoring and analysis of historical data allow the optimization of various operations, from the quick identification of problems to the implementation of corrective and preventive actions.

Thus, the quality of products or services is significantly improved, as the information provides data-driven management, thereby facilitating a leaner and more efficient production, which reduces overall costs and, consequently, can make the product or service

more competitive in terms of price [71].

Therefore, the competitive advantages generated by the use of this system are multifaceted, encompassing not only operational efficiency, but also the quality and cost of products and services. These joint improvements enable the company to acquire a more solid and advantageous position in the market in which it operates.

7.3 Conducting tests and validations

Although all the requirements raised for the system have been met and the detailed user stories have been completed, a significant evaluation of the system in a production environment has not yet been carried out. The importance of testing and validating a software system in a real environment cannot be underestimated [72], as conducting tests is fundamental to assess the system's suitability to practical needs, while validation ensures that the system meets the established requirements.

The development of software systems is an iterative process that involves a series of steps, including requirements, design, implementation, testing, and maintenance. Each of these steps requires review and adjustments based on the results of tests and validations [73]. The lack of a rigorous testing and validation stage can result in various deficiencies, both technical and functional, which can not only affect the system's performance but also render it impractical for use in a production environment.

Without a proper series of tests, the system is susceptible to failures that can be both technical and related to functional requirements. These failures may be minor, but they have the potential to escalate and compromise the system's integrity. Thus, the absence of tests and validations in a real environment represents a significant gap that must be addressed to ensure the system's robustness and effectiveness.

Capítulo 8

Conclusão e Trabalhos Futuros

O capítulo está estruturado nas seções "Resumo" do projeto, uma discussão sobre as "Limitações do Sistema" e finalmente, "Sugestões para Trabalhos Futuros".

A construção do sistema é considerada bem-sucedida, servindo como um marco inicial para futuras implementações e adaptações. Os próximos passos para o avanço deste projeto incluem a colocação do sistema em um ambiente de produção, seguida pela coleta de feedback de usuários. Esta abordagem permitirá um processo incremental de aprendizagem, no qual o sistema será constantemente aprimorado com base nas experiências adquiridas e nas necessidades identificadas.

8.1 Resumo

Nesta dissertação, foi desenvolvido um sistema multifuncional destinado à coleta, armazenamento, processamento e visualização de dados gerados por sensores. Utilizou-se Python para a criação da API e do módulo de processamento, MongoDB para o gerenciamento do banco de dados e NextJs para a construção do painel de controle, conhecido como *dashboard*. A arquitetura do sistema pode ser vista em 4.

Os dados foram recebidos através de uma conexão multicast estabelecida pelo módulo de recebimento de dados, mostrado em 4.1.1. Uma vez recebidos, os dados foram imediatamente submetidos a uma análise preliminar para identificar qualquer condição que

pudesse acionar um alerta. Caso um alerta fosse gerado, os usuários eram notificados, permitindo intervenções rápidas e eficazes.

Para a análise de dados históricos, empregou-se o método BoxPlot no módulo de processamento, explicado em 4.1.2. Esta análise objetivou a identificação de padrões e anomalias nos dados coletados ao longo do tempo, fornecendo insights valiosos para a operação e manutenção das máquinas monitoradas.

A API, descrita em 5.4, desempenhou um papel crucial no sistema, gerenciando o acesso aos dados. A segurança foi assegurada através da implementação de autenticação por JWT, e vários *endpoints* foram desenvolvidos para permitir um acesso eficaz aos dados.

O *frontend*, descrito em ,por sua vez, foi responsável por exibir informações em tempo real, alertas gerados e dados processados em forma de gráficos.

8.2 Limitações do Sistema

Apesar dos avanços alcançados com o desenvolvimento do sistema em questão, algumas limitações foram identificadas que poderiam influenciar sua eficácia e aplicabilidade em diferentes contextos.

Primeiramente, identifica-se que o módulo de recebimento de dados necessita ser adaptado especificamente para cada contexto operacional. Esta exigência pode comprometer a portabilidade do sistema, exigindo ajustes manuais sempre que uma nova aplicação é considerada.

Em segundo lugar, existem restrições em relação à estrutura dos dados recebidos, pois para o funcionamento eficaz do módulo de recebimento de dados e da funcionalidade de alerta, é necessário que os dados recebidos possuam um campo de identificação e um valor numérico correspondente. A ausência deste último impede que os alertas sejam identificados e torna o módulo de processamento ineficaz para a análise desses dados.

Por último, o sistema foi projetado e testado em um ambiente com uma quantidade limitada de máquinas conectadas. Não foram realizados testes para avaliar o desempenho

do sistema sob a carga de uma grande quantidade de máquinas e sensores enviando dados simultaneamente. Portanto, para cenários com maior escala, adaptações podem ser necessárias para assegurar o desempenho e a eficácia do sistema.

8.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com base nas observações e análises realizadas ao longo deste projeto, existem diversos trabalhos que podem ser feitos no sistema para pesquisa e desenvolvimento futuro.

8.3.1 Utilização de inteligencia artificial para predição

Dado que os dados lidos pelos sensores são armazenados no sistema, eles têm o potencial de revelar informações significativas sobre o funcionamento das máquinas. A aplicação de técnicas de AI aos dados coletados foi identificada como a principal funcionalidade para a evolução do sistema, que pode se tornar uma ferramenta robusta para manutenção preditiva. Ao aplicar algoritmos de aprendizado de máquina aos dados armazenados, podem ser gerados modelos preditivos que antecipam falhas ou ineficiências em equipamentos industriais.

A implementação de um sistema de manutenção preditiva baseado em AI poderia conferir uma vantagem competitiva significativa à empresa, não apenas melhoraria a eficiência operacional, mas também otimizaria a alocação de recursos para manutenção, resultando em redução de custos e aumento de produtividade. Portanto, a exploração futura de AI para a análise de dados armazenados é fortemente recomendada para aprimorar a eficácia do sistema em estudo.

8.3.2 Monitoramento e Logs

O monitoramento abrangente do sistema e a manutenção de logs de atividades são aspectos cruciais para a sustentabilidade e escalabilidade do sistema. A ausência de um sistema de logs bem estruturado pode resultar em dificuldades na identificação e resolução de

problemas que podem surgir durante o funcionamento do sistema em tempo real. Nesse contexto, três áreas principais são identificadas onde o monitoramento e os logs poderiam fornecer insights valiosos para aprimoramento contínuo.

Além disso, seria vantajoso manter um registro abrangente das transações de dados entre os sensores e o módulo de recebimento de dados. Esses logs poderiam incluir informações como data e hora da transação, identificação do sensor, e qualquer anomalia ou falha durante o processo de recebimento. Isso facilitaria a verificação da integridade dos dados recebidos e ajudaria na detecção precoce de possíveis problemas no hardware ou na conectividade da rede.

Log para Análise Estatística

O módulo de processamento de dados, responsável pela análise estatística, também seria beneficiado por um sistema de logs. Detalhes sobre a execução do BoxPlot ou qualquer outra análise estatística poderiam ser registrados. Isso inclui informações como o número de pontos de dados analisados, quaisquer outliers detectados, e o tempo levado para a execução da análise. Com essas informações, seria possível refinar mais o algoritmo de análise e identificar áreas para otimização.

8.3.3 Parâmetros Dinâmicos para Alertas

Na versão atual do sistema, os parâmetros responsáveis por disparar alertas são definidos de forma estática, incorporados diretamente no código-fonte. Essa abordagem, embora funcional, apresenta limitações em termos de flexibilidade e adaptabilidade a diferentes cenários operacionais.

Na configuração atual, qualquer alteração nos parâmetros de alerta exige uma intervenção direta no código, seguida de um processo de teste e implantação, que pode ser tanto demorado quanto propenso a erros. Além disso, a falta de flexibilidade limita a capacidade da empresa de adaptar-se rapidamente a novas condições operacionais.

Seria vantajoso permitir que os parâmetros de alerta sejam configurados de forma

dinâmica, através da interface de usuário do sistema. Uma funcionalidade que permita aos usuários ajustar os limiares de alerta e outros parâmetros relacionados poderia ser implementada. A possibilidade de fazer esses ajustes em tempo real, sem a necessidade de interromper o funcionamento do sistema, representaria um avanço significativo na usabilidade e adaptabilidade do sistema.

Com a implementação de parâmetros dinâmicos, os usuários poderiam responder mais rapidamente às mudanças nas condições operacionais, como variações na carga de trabalho das máquinas ou atualizações nas políticas de segurança. Além disso, essa flexibilidade aumentaria a portabilidade do sistema, facilitando sua implantação em diversos ambientes industriais com requisitos distintos.

8.3.4 Generalização para Outros Contextos

O sistema desenvolvido foi projetado inicialmente para um ambiente industrial específico. Embora eficaz nesse contexto, a transferência direta do sistema para outras áreas industriais pode não ser trivial. Portanto, a generalização do sistema para outros contextos é identificada como uma área de interesse para trabalhos futuros.

O módulo de recebimento de dados atualmente requer personalização específica para cada contexto industrial. Além disso, o sistema foi projetado para analisar dados que contêm um campo de identificação e um valor numérico. A falta desses campos poderia dificultar ou inviabilizar a adaptação do sistema em ambientes que exigem o tratamento de diferentes tipos de dados.

Pesquisas futuras poderiam explorar métodos para tornar o módulo de recebimento de dados e o módulo de processamento mais flexíveis e adaptáveis a diferentes tipos de dados e estruturas. Técnicas de aprendizado de máquina ou métodos estatísticos avançados poderiam ser aplicados para automatizar a detecção de eventos anômalos em diferentes cenários, sem a necessidade de programação manual extensiva.

A capacidade de adaptar o sistema para diferentes contextos industriais não só aumentaria sua aplicabilidade, mas também poderia levar a melhorias na eficiência de operações

industriais em uma variedade de setores. Isso é particularmente relevante em um cenário em que a indústria 4.0 e a Internet das Coisas estão ganhando impulso [74], e a análise de dados em tempo real torna-se cada vez mais crítica [71] para a competitividade empresarial.

8.3.5 Otimização de Performance

A capacidade do sistema de escalar e operar eficientemente sob carga elevada não foi amplamente testada. Em particular, há preocupações relativas ao desempenho quando um grande número de máquinas está conectado e enviando dados simultaneamente, bem como à capacidade do frontend de exibir múltiplos dados em tempo real.

O sistema ainda não foi colocado em produção, portanto também não foi avaliado em um ambiente com tráfego elevado, tanto em termos de máquinas conectadas quanto de usuários acessando o dashboard. Portanto, os desafios associados à escalabilidade, como latência no recebimento de dados e possíveis gargalos na base de dados, ainda são desconhecidos.

O frontend, construído em Next.js, tem o potencial para se tornar uma área de gargalo, especialmente quando exibe dados em tempo real para múltiplas máquinas. A utilização de tecnologias mais recentes, como os Server Components em versões mais recentes do Next.js, poderia contribuir para uma renderização mais eficiente e um melhor desempenho.

Aprimoramentos na API e no módulo de processamento também são considerados para melhorar a eficiência global do sistema. Técnicas de cacheamento, balanceamento de carga e otimização de consultas ao banco de dados são algumas das estratégias que podem ser exploradas, caso problemas de performance venha acontecer.

Para validar qualquer melhoria implementada, são necessários testes de performance, simulação de tráfego elevado e monitoramento em tempo real. Estes testes podem fornecer métricas objetivas para avaliar a eficácia das otimizações e identificar novas áreas para melhoria.

A otimização de performance do sistema é uma área prioritária para trabalhos futuros,

visando garantir que ele possa operar eficazmente sob diversas condições de carga, tanto em termos de entrada de dados quanto de interação do usuário.

8.3.6 Atualizações de Tecnologia

Dada a natureza em constante evolução do desenvolvimento de software, a atualização para tecnologias mais recentes é algo que não pode ser negligenciado. Em particular, versões mais recentes do Next.js, especificamente as versões 13 e 14, oferecem recursos que poderiam melhorar substancialmente o desempenho e a eficiência do sistema.

Um dos recursos mais promissores disponíveis nas versões mais recentes do Next.js é o conceito de Server Components [75]. Esses componentes permitem uma renderização mais eficiente dos elementos da interface do usuário, já que eles são processados no servidor e enviados para o cliente como HTML puro. Isso reduz a carga no navegador e pode melhorar significativamente a velocidade e a eficiência da aplicação.

Além disso, a nova arquitetura oferece oportunidades mais robustas para cacheamento. Isso é particularmente útil no contexto deste sistema, onde o módulo de processamento roda em intervalos específicos, portanto os gráficos e outros elementos visuais podem ser cacheados no servidor, otimizando a experiência do usuário ao acessar dados atualizados.

É importante notar que atualizações de tecnologia como essas exigem um período de transição e testes rigorosos para garantir que a compatibilidade entre os diferentes elementos do sistema seja mantida. Portanto, um plano de migração bem estruturado e fases de teste são essenciais para implementar com sucesso qualquer atualização.

8.3.7 Implantação e Feedback na Fábrica

Uma etapa crítica para a validação e o aprimoramento contínuo do sistema é a sua implantação em um ambiente industrial real, preferencialmente uma fábrica com operações que se alinham ao contexto para o qual o sistema foi projetado.

A implantação em um ambiente de fábrica oferece a oportunidade de coletar feedback direto dos usuários finais e das partes interessadas. Esse feedback não é apenas

instrumental para identificar áreas para melhoria imediata, mas também fornece insights sobre como o sistema se encaixa nas operações diárias e nas metas de longo prazo da organização.

A vantagem de coletar feedback real reside na capacidade de realizar ajustes incrementais no sistema. Esses ajustes podem variar desde a correção de pequenos bugs até modificações mais significativas que podem melhorar a eficácia do sistema. O processo de ajuste é fundamental para alinhar o sistema às necessidades e expectativas dos usuários, bem como para otimizar o desempenho.

Em suma, a implantação do sistema em um ambiente de fábrica não é um fim, mas sim um passo vital em um ciclo de desenvolvimento e aprimoramento contínuos. A coleta de feedback real e a capacidade de fazer ajustes incrementais são fundamentais para garantir que o sistema seja eficiente em um contexto industrial real.

Bibliografia

- [1] S. Bonilla, H. Silva, M. T. da Silva, R. F. Gonçalves e J. Sacomano, “Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges,” *Sustainability*, vol. 10, n.º 10, p. 3740, 2018. DOI: 10.3390/SU10103740. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3740/pdf?version=1539767696>.
- [2] W. M. Ashraf, G. M. Uddin, S. M. Arafat et al., “Optimization of a 660 MWe Supercritical Power Plant Performance—A Case of Industry 4.0 in the Data-Driven Operational Management Part 1. Thermal Efficiency,” *Energies*, vol. 13, n.º 21, p. 5592, 2020. DOI: 10.3390/en13215592. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5592/pdf?version=1603956781>.
- [3] T. Mabad, O. Ali, M. A. Ally, S. Wamba e K. C. Chan, “Making Investment Decisions on RFID Technology: An Evaluation of Key Adoption Factors in Construction Firms,” *IEEE Access*, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3063301. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/6287639/9312710/09366873.pdf>.
- [4] K. Bajaj, B. Sharma e R. Singh, “Implementation analysis of IoT-based offloading frameworks on cloud/edge computing for sensor generated big data,” *International Journal of Information Management Data Insights*, 2021. DOI: 10.1007/s40747-021-00434-6. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40747-021-00434-6.pdf>.
- [5] J. Brown, “FQC: A Software for Managing Information from FASTQ Files,” *Bioinformatics*, 2017. DOI: 10.1093/bioinformatics/btx373.

- [6] M. D. Network. “MDN Web Docs: Working with JSON.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON>.
- [7] L. Ren, Z. Meng, X. Wang, L. Zhang e L. T. Yang, “A Data-Driven Approach of Product Quality Prediction for Complex Production Systems,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. Volume Number,
- [8] G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, S. McLoone e A. Beghi, “Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 11, n.º 3, pp. 820–830, 2015.
- [9] U. Shafi, R. Mumtaz, J. García-Nieto, S. A. Hassan, S. A. R. Zaidi e N. Iqbal, “Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications,” vol. 19, n.º 3, p. 3796, 2019.
- [10] M. H. Rehman, “The Role of Big Data Analytics in Industrial Internet of Things,” *Future Generation Computer Systems*, 2019. DOI: 10.1016/J.FUTURE.2019.04.020. URL: <https://dx.doi.org/10.1016/J.FUTURE.2019.04.020>.
- [11] D. Umakirthika, “Internet of Things in Vehicle Safety - Obstacle Detection and Alert System,” *International Journal of Engineering and Computer Science*, 2018. DOI: 10.18535/IJECS/V7I2.05. URL: <https://dx.doi.org/10.18535/IJECS/V7I2.05>.
- [12] I. H. Sarker, “Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions,” *SN COMPUT. SCI.*, vol. 2, n.º 160, 2021, Received: January 27, 2021; Accepted: March 12, 2021; Published: March 22, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>.
- [13] Z. Lv, “Next-Generation Big Data Analytics: State of the Art, Challenges, and Future Research Topics,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2017. DOI: 10.1109/TII.2017.2650204. URL: <https://dx.doi.org/10.1109/TII.2017.2650204>.

- [14] E. B. Yang Zhang Tao Huang, “Big data analytics in smart grids: a review,” *Energy Informatics*, 2018. DOI: 10.1186/S42162-018-0007-5. URL: <https://dx.doi.org/10.1186/S42162-018-0007-5>.
- [15] C. Fan, “Advanced data analytics for enhancing building performances: From data-driven to big data-driven approaches,” *Building Simulation*, 2021. DOI: 10.1007/s12273-020-0723-1. URL: <https://dx.doi.org/10.1007/s12273-020-0723-1>.
- [16] S. Radha, “Agile Methodology Adoption: Benefits and Constraints,” *International Journal of Computer Applications*, vol. Volume Number, 2012. URL: <https://research.ijcaonline.org/volume58/number15/pxc3883698.pdf>.
- [17] A. R. Asghar, S. N. Bhatti, A. Tabassum, Z. Sultan e R. Abbas, “Role of Requirements Elicitation & Prioritization to Optimize Quality in Scrum Agile Development,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2016. DOI: 10.14569/IJACSA.2016.071239. URL: http://thesai.org/Downloads/Volume7No12/Paper_39-Role_of_Requirements_Elicitation_Prioritization_to_Optimize_Quality.pdf.
- [18] Lucassen, G., Dalpiaz et al., “Forging high-quality User Stories: Towards a discipline for Agile Requirements,” *2015 IEEE 23rd International Requirements Engineering Conference (RE)*, 2015. DOI: 10.1109/RE.2015.7320415. URL: <http://www.staff.science.uu.nl/%7Edalpi001/papers/luca-dalp-werf-brin-15-re.pdf>.
- [19] I. Ghani e M. Bello, “Agile Adoption in IT Organizations,” *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 2015. DOI: 10.3837/tiis.2015.08.029. URL: <http://www.tiis.org/digital-library/manuscript/file/20875/TIISVol19No8-29.pdf>.
- [20] N. L. Inc. “This Project Management System Helps Your Engineering Team Track Every Initiative.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://www.notion.so/help/guides/this-project-management-system-helps-your-engineering-team-track-every-initiative>.

- [21] M. Community. “Markdown Guide.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://www.markdownguide.org/>.
- [22] G. Inc. “GitHub.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://github.com/>.
- [23] M. Inc. “MongoDB Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://www.mongodb.com/docs/>.
- [24] P. S. Foundation. “Python Official Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://www.python.org/>.
- [25] S. Ramírez. “FastAPI Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://fastapi.tiangolo.com/>.
- [26] V. Inc. “Next.js Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs>.
- [27] F. Inc. “React Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://react.dev/>.
- [28] M. Corporation. “TypeScript Language Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://www.typescriptlang.org/>.
- [29] M.-U. Team. “Material-UI Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://mui.com/>.
- [30] G. Inc. “Material Design 3.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://m3.material.io/>.
- [31] D. Inc. “Docker Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://docs.docker.com/>.
- [32] D. Inc. “Overview of Docker.” Accessed: yyyy-mm-dd. (2023), URL: <https://docs.docker.com/get-started/overview/>.
- [33] N. Inc. “NGINX Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nginx.org/en/docs/>.

- [34] S. Barbosa e G. Barbosa, “Introduction to Data Visualization,” em *17th IFIP Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT)*, Paphos, Cyprus, 2019, pp. 527–529. DOI: 10.1007/978-3-030-29390-1_30. URL: https://hal.inria.fr/hal-02877680/file/488595_1_En_30_Chapter.pdf.
- [35] F. Marmolejo-Ramos e T. Tian, “The shifting boxplot. A boxplot based on essential summary statistics around the mean,” *Ingenieria y Ciencia*, vol. 6, n.º 12, pp. 119–132, 2010. DOI: 10.21500/20112084.823. URL: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IJPR/article/download/823/597>.
- [36] F. Paraiso, S. Challita, Y. Al-Dhuraibi e P. Merle, “Model-Driven Management of Docker Containers,” em *2016 IEEE 9th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, IEEE, 2016, pp. 327–334. DOI: 10.1109/CLOUD.2016.0100. URL: <https://hal.inria.fr/hal-01314827/file/paper.pdf>.
- [37] D. Inc. “Docker Networking Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://docs.docker.com/network/>.
- [38] D. Inc. “Docker Storage Volumes Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://docs.docker.com/storage/volumes/>.
- [39] D. Inc. “Docker Compose Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://docs.docker.com/compose/>.
- [40] Y. Project. “YAML Official Website.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://yaml.org/>.
- [41] D. Bader. “Schedule: Job scheduling for humans.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://schedule.readthedocs.io/en/stable/>.
- [42] pandas Development Team. “pandas Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://pandas.pydata.org/docs/>.
- [43] U. D. Team. “Uvicorn Official Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://www.uvicorn.org/>.

- [44] S. Ramírez. “FastAPI Tutorial.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/>.
- [45] S. Ramírez. “FastAPI Security Tutorial.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://fastapi.tiangolo.com/tutorial/security/>.
- [46] S. D. Team. “Socket.io v4 Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://socket.io/docs/v4/>.
- [47] P. S. Foundation. “Python asyncio Library Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://docs.python.org/3/library/asyncio.html>.
- [48] M. D. Team. “Motor Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://motor.readthedocs.io/en/stable/>.
- [49] P. D. Team. “Pydantic Documentation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://docs.pydantic.dev/latest/>.
- [50] V. Inc. “Next.js Documentation: Defining Routes.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/app/building-your-application/routing/defining-routes>.
- [51] D. D. Team. “Day.js Documentation: Installation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://day.js.org/docs/en/installation/installation>.
- [52] V. Inc. “Next.js Documentation: use-router.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/app/api-reference/functions/use-router>.
- [53] V. Inc. “Next.js Documentation: Head Component.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/pages/api-reference/components/head>.
- [54] V. Inc. “Next.js Documentation: getInitialProps.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/pages/api-reference/functions/get-initial-props>.
- [55] V. Inc. “Next.js Documentation: getStaticProps.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/pages/building-your-application/data-fetching/get-static-props>.

- [56] Vercel. “Next.js Documentation: getServerSideProps.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/pages/building-your-application/data-fetching/get-server-side-props>.
- [57] F. Inc. “React Documentation: createContext.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://react.dev/reference/react/createContext>.
- [58] Material-UI. “Material-UI Guides: Using Material-UI with the Default Theme in a Next.js App.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://mui.com/material-ui/guides/next-js-app-router/#using-material-ui-with-the-default-theme>.
- [59] I. Facebook. “React Documentation: React Reference.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://react.dev/reference/react>.
- [60] F. Inc. “React Documentation: useEffect.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://react.dev/reference/react/useEffect>.
- [61] A. D. Team. “Axios Documentation: Introduction.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://axios-http.com/docs/intro>.
- [62] A. D. Team. “Axios Documentation: Interceptors.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://axios-http.com/docs/interceptors>.
- [63] M. D. Network. “MDN Web Docs: Window.localStorage.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Window/localStorage>.
- [64] S. D. Team. “Socket.io Documentation: Client API.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://socket.io/docs/v4/client-api/>.
- [65] M. D. Network. “MDN Web Docs: Using Fetch.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Fetch_API/Using_Fetch.
- [66] I. Facebook. “React Documentation: Your First Component.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://react.dev/learn/your-first-component>.

- [67] M.-U. Team. “Material-UI Documentation: React Grid.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://mui.com/material-ui/react-grid/>.
- [68] M.-U. Team. “Material-UI Documentation: React Date Pickers Validation.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://mui.com/x/react-date-pickers/validation/>.
- [69] A. Rácz-Szabó, T. Ruppert, L. Bántay, A. Löcklin, L. Jakab e J. Abonyi, “Real-Time Locating System in Production Management,” *Sensors*, vol. 20, n.º 23, p. 6766, 2020. DOI: 10.3390/s20236766. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/23/6766/pdf?version=1606726632>.
- [70] C. K. Ng, C. Wu, W. Ip, C. Chan e G. Ho, “A Real Time Quality Monitoring System for the Lighting Industry: A Practical and Rapid Approach Using Computer Vision and Image Processing (CVIP) Tools,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 57, n.º 5-8, pp. 597–611, 2011. DOI: 10.5772/45670. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5772/45670>.
- [71] P. Glowalla, P. Balazy, D. Basten e A. Sunyaev, “Process-Driven Data Quality Management – An Application of the Combined Conceptual Life Cycle Model,” *Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 4752–4761, 2014. DOI: 10.1109/HICSS.2014.575. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/6751593/6758592/06759178.pdf>.
- [72] Y. Le Traon, D. Deveaux e J. Jézéquel, “Self-testable components: from pragmatic tests to design-for-testability methodology,” em *Proceedings of the 31st International Conference on Technology of Object-Oriented Languages and Systems (TOOLS)*, IEEE, 1999, N/A. DOI: 10.1109/TOOLS.1999.779003. URL: <https://hal.inria.fr/hal-00776493/file/TE99.pdf>.
- [73] G. Coleman e R. V. O’Connor, “Software Process in Practice: A Grounded Theory of the Irish Software Industry,” em *Proceedings of the International Conference on Software Process*, Springer, 2006, N/A. URL: https://researchrepository.ul.ie/articles/conference_contribution/Software_process_in_practice_a_

grounded_theory_of_the_Irish_software_industry/19854979/1/files/35270734.pdf.

- [74] J. Nagy, J. Oláh, E. Erdei, D. Máté e J. Popp, “The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary,” *Sustainability*, vol. 10, n.º 10, p. 3491, 2018. DOI: 10.3390/SU10103491. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3491/pdf?version=1538209396>.
- [75] V. Inc. “Next.js Documentation: Server Components.” Acessado em: 2023-09-13. (2023), URL: <https://nextjs.org/docs/app/building-your-application/rendering/server-components>.