

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO FARIA DAYRELL

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE
RESÍDUOS DE CAMINHÕES COMPACTADORES BASEADO EM ARDUINO**

LONDRINA

2023

RODRIGO FARIA DAYRELL

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE
RESÍDUOS DE CAMINHÕES COMPACTADORES BASEADO EM ARDUINO**

**Development Project for an Arduino-Based Compactor Truck Waste Measuring
Device**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof.^a Rosana Travessini

LONDRINA

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RODRIGO FARIA DAYRELL

**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE
RESÍDUOS DE CAMINHÕES COMPACTADORES BASEADO EM ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 21/novembro/2023

Rosana Travessini
Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pedro Rochavetz de Lara Andrade
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Regina Lúcia Sanches Malassise
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2023

RESUMO

A coleta e o descarte eficazes de resíduos sólidos municipais são considerados como um dos requisitos urgentes para o desenvolvimento social sustentável. Diminuir a distância total percorrida na coleta possibilita a economia de combustível, o que resulta na diminuição dos custos e as emissões de CO₂ ocasionadas pela queima do combustível durante a operação de coleta, porém para otimizar uma rota de coleta, é necessário obter a demanda média histórica de cada ponto, para que o peso total de resíduos recolhidos em cada viagem se adeque à capacidade máxima do caminhão. O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo capaz de medir com precisão a quantidade de resíduos coletados em uma região, fornecendo dados para uma alocação mais eficiente em cada ponto ou microrregião de coleta em suas respectivas rotas. Desenvolvido a partir do modelo de projeto de produtos de Rozenfeld *et al.* (2006), ele passou por um processo de prototipagem e simulação para que sua eficácia fosse testada em diferentes cenários. Além de ser uma solução tecnológica, o mesmo serve como modelo para iniciativas similares, promovendo a digitalização e otimização de processos mesmo em contextos de orçamento restrito. A conclusão destaca a abordagem integral, unindo desenvolvimento tecnológico à consideração das demandas do usuário e aos procedimentos de implementação, levando em conta as restrições orçamentárias. Assim, o dispositivo não só oferece uma solução acessível e eficaz à sociedade, mas também contribui para a diminuição de emissões de CO₂ e impulsiona os lucros das empresas de coleta de resíduos, fornecendo dados fundamentais para uma futura otimização das rotas.

Palavras-chave: Coleta de Resíduos; Projeto do Produto; Medição de Demanda.

ABSTRACT

The effective collection and disposal of municipal solid waste are considered as one of the urgent requirements for sustainable social development. Reducing the total distance traveled in the collection enables fuel saving, which results in the decrease of costs and CO₂ emissions caused by fuel combustion during the collection operation; however, to optimize a collection route, it is necessary to obtain the historical average demand of each point, so that the total weight of waste collected in each trip fits the maximum capacity of the truck. The objective of this work is the development of a device capable of measuring accurately the amount of waste collected in a region, providing data for a more efficient allocation in each point or microregion of collection in their respective routes. Developed from the product design model of Rozenfeld *et al.* (2006), it went through a prototyping and simulation process to test its effectiveness in different scenarios. Besides being a technological solution, it also serves as a model for similar initiatives, promoting the digitalization and optimization of processes even in contexts of restricted budget. The conclusion highlights the integral approach, combining technological development with the consideration of user demands and implementation procedures, taking into account the budgetary constraints. Thus, the device not only offers an accessible and effective solution to society, but also contributes to the reduction of CO₂ emissions and boosts the profits of waste collection companies, providing fundamental data for a future optimization of the routes.

Keywords: Waste Collection; Product Project; Demand Measurement.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO	11
2.1	Objetivo geral	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	JUSTIFICATIVA	11
4	REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1	Projeto e desenvolvimento de produtos	13
4.1.1	Modelos de referência	13
4.1.2	Modelo unificado de Rozenfeld et al (2006)	14
4.2	Desenvolvimento de produtos sustentáveis	15
4.3	Coleta de resíduos	17
4.4	Dispositivos de coleta de dados de demanda de resíduos	20
4.5	Simulação	20
4.5.1	Simulação de Monte Carlo	21
4.6	Microcontroladores	22
5	METODOLOGIA	22
5.1	Delineamento da pesquisa	22
5.2	Pré-desenvolvimento	22
5.3	Desenvolvimento	23
5.3.1	Projeto informacional	23
5.3.2	Projeto conceitual	23
5.3.3	Projeto detalhado	24
5.3.4	Preparação da produção	25
5.3.5	Implementação	25
5.4	Pós-desenvolvimento	26
5.4.1	Acompanhamento do produto e processo	26
5.4.2	Descontinuação do produto	26
6	PRÉ-DESENVOLVIMENTO	27
6.1	Características e necessidades do negócio	27
6.2	Caracterização dos serviços da empresa	28

7	DESENVOLVIMENTO	29
7.1	Projeto informacional	29
7.1.1	Trajetória do produto	29
7.1.2	Requisitos do cliente	29
7.1.3	Requisitos do produto	35
7.1.4	Especificações-méta	41
7.2	Projeto conceitual	43
7.2.1	Função geral da modelagem funcional	43
7.2.2	Modelagem funcional detalhada	44
7.2.3	Princípios de solução das funções	46
7.2.4	Escolhas dos princípios de solução	50
7.2.5	Funcionamento do dispositivo	52
7.2.6	Método de mapeamento de demanda	54
7.2.7	Planos do processo.....	56
7.2.8	Interface do aplicativo	57
7.2.9	Componentes do dispositivo	58
7.2.10	Arquitetura do produto.....	60
7.2.11	Plano macro do processo.....	66
7.3	Projeto detalhado	68
7.3.1	Detalhamento dos componentes.....	68
7.3.2	Recursos de fabricação.....	72
7.3.3	Montagem	73
7.3.4	Manuais do produto	74
7.3.5	Prototipagem e simulação do produto.....	78
7.4	Preparação da produção	81
7.4.1	Obter recursos de fabricação	81
7.4.2	Detalhar procedimento de manutenção	82
7.4.3	Treinamento	83
7.5	Implementação	84
7.5.1	Organizar parada de caminhões	84
7.5.2	Comunicado de mau funcionamento.....	85
7.5.3	Execução e implementação	87
8	PÓS-DESENVOLVIMENTO	88

8.1	Avaliação do produto	88
8.1.1	Avaliar praticidade da instalação.....	88
8.1.2	Avaliar interface do aplicativo.....	89
8.1.3	Avaliar precisão do dispositivo.....	89
8.1.4	Avaliar confiabilidade da comunicação.....	89
8.1.5	Avaliar resposta ao ambiente.....	90
8.2	Critérios de Avaliação da nova tecnologia	90
8.3	Transição para a nova tecnologia	92
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, o gerenciamento de resíduos sólidos (GRS) é um dos principais assuntos que dizem respeito à administração de recursos financeiros, proteção do meio ambiente e à conservação dos recursos naturais (Laureri, Minciardi e Robba, 2015).

Segundo Rai, Bhattarai, e Neupane (2017) a população urbana está aumentando rapidamente, principalmente nos países em desenvolvimento, onde existem altos níveis de migração da área rural para as cidades e atividade econômica cada vez mais crescente. Em 2011, foram gerados 1,3 bilhão de toneladas de resíduos sólidos municipais (RSM), e estima-se que este número cresça para 2,2 bilhões de toneladas até 2025 (Son e Louati, 2015).

No Brasil, a geração foi de aproximadamente 72,5 toneladas em 2015, o que representa um aumento de 1,7% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2015). Além disso, 52,0% do total de resíduos coletados foram enviados para aterros sanitários em 2014. Os aterros controlados, que incluem os aterros recuperados que foram tratados, representam o segundo método de destinação mais utilizado, com 13,1%, seguido dos lixões, com expressiva participação de 12,4%. As unidades de triagem e compostagem de reciclagem, respectivamente, receberam 2,5% e 0,4% do total de resíduos coletados no país. (SNIS, 2018). Apesar do progresso brasileiro com o aumento da quantidade de resíduos descartados adequadamente, o país não cumpriu a meta de eliminar o despejo de RSU em aterros até o ano de 2014, conforme estipulado pela Política Nacional de Gerenciamento de Resíduos - BWMP (Ferri, Chaves, & Ribeiro, 2015). Assim, vários países estão buscando formas de mitigar seus impactos, incluindo o Brasil (Guerrero, Maas, e Hogland, 2013).

Atualmente, devido ao alto aumento na geração de resíduos sólidos municipais, o GRS possui a atenção de executivos, com a intenção de seguir uma abordagem sustentável para o gerenciamento de resíduos e integrar estratégias que possam encontrar a melhor opção viável para o recolhimento de resíduos (Laureri, Minciardi, e Robba, 2015).

A coleta e o descarte eficazes de resíduos sólidos municipais são considerados como um dos requisitos urgentes para o desenvolvimento social

sustentável (Son, 2014). A coleta de resíduos sólidos (CRS), além de seus subsequentes custos, também causa congestionamento de tráfego e consumo de combustível e poluição atmosférica. Uma grande quantia do orçamento destinado ao GRS é gasta no setor de coleta (Akhtar *et al.*, 2016).

A CRS consiste em processos de recolhimento de resíduos de diferentes áreas, carregamento e transporte por veículos e descarga em instalações de eliminação (*disposal facilities*) (Wei *et al.*, 2017). O custo de coleta de resíduos representa mais de 70% do orçamento de gestão de resíduos sólidos de muitos municípios de países em desenvolvimento e cerca de 60% ou menos para os países desenvolvidos (Kinobe *et al.*, 2014).

Para otimizar uma rota de coleta, é necessário obter a demanda média histórica de cada ponto, para que o peso total de resíduos recolhidos em cada viagem se adeque à capacidade máxima do caminhão. Ferramentas de previsão e aplicativos de monitoramento com base em dados quantitativos de resíduos, podem assumir uma importância significativa no enfrentamento de tais cenários (Rovetta *et al.*, 2009). A forma normalmente utilizada pelos municípios para estimar a quantidade de lixo produzida por cada residência é através da contagem do número de ruas em cada região de coleta, em seguida, a quantidade total de resíduo coletada é distribuída igualmente para cada ponto de coleta. Isso pode não ser uma medida muito precisa (Chowdhury e Chowdhury, 2007).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é descrever o desenvolvimento de um dispositivo com capacidade de realizar a medição da quantidade de resíduo coletado durante todo o percurso da coleta, para então atribuir corretamente a quantidade coletada em cada ponto ou microrregião de coleta. Para isso, o dispositivo deve ter custo e qualidade que atenda a realidade das empresas brasileiras, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais envolvidos na gestão dos resíduos sólidos urbanos. O processo de desenvolvimento do dispositivo é baseado em uma adaptação do modelo geral de desenvolvimento de produtos de Rozenfeld *et al.* (2006).

Diante disso, formula-se a seguinte questão - como aprimorar o controle do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de forma que se adeque à realidade das empresas brasileiras?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor um dispositivo de baixo custo e precisão satisfatória para medir resíduos urbanos, permitindo otimizar a coleta de resíduos, reduzindo a poluição e os custos de operação com uma tecnologia simples e acessível, favorecendo soluções mais eficientes e sustentáveis para a gestão de resíduos.

2.2 Objetivos específicos

- Compreender as necessidades das companhias de coleta de resíduos sólidos urbanos.
- Desenvolver um produto com custo acessível, requisitos adequados e com etapas simples de implementação e descontinuação, de forma que a solução se torne atrativa e facilite a adesão das empresas.
- Simular o desempenho do produto e avaliar os resultados obtidos.

3 JUSTIFICATIVA

O projeto de desenvolvimento de um dispositivo medidor de demanda de coleta de resíduos urbanos visa criar uma solução acessível e precisa que atenda às necessidades das empresas de coleta de resíduos, com o propósito de criar uma base de dados com as informações de demanda média histórica em cada ponto, para futuramente otimizar seus processos de coleta. Um dos principais desafios a serem superados é a otimização das rotas de coleta, uma vez que a falta de informações precisas sobre a distribuição da demanda no mapa representa um obstáculo significativo.

O sucesso da implementação deste dispositivo teria um impacto significativo, beneficiando tanto as empresas de coleta, ao permitir a redução de custos operacionais por meio da economia de combustível resultante da diminuição da distância total percorrida nas rotas otimizadas, quanto a população em geral, que contaria com um serviço de coleta mais eficiente e amigável ao meio ambiente.

O dispositivo proposto tem a capacidade de medir a demanda em tempo real durante as operações de coleta, suprimindo a escassez de informações sobre a distribuição da demanda. Além disso, o projeto tem a ambição de servir como fonte de inspiração para o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo voltadas para serviços de utilidade pública, demonstrando que é possível resolver problemas complexos com orçamentos limitados. Além disso, a simplicidade de implementação e o baixo custo do dispositivo são características distintivas que o tornam uma opção atraente para empresas interessadas em digitalizar seus processos e investir em soluções tecnológicas acessíveis.

Este trabalho aspira a ser um modelo para projetos semelhantes, permitindo que qualquer funcionário da empresa, mesmo com conhecimento básico em eletrônica e programação, possa implementar a tecnologia. Em um cenário de avanços tecnológicos crescentes no mundo e demandas em constante mudança na gestão de resíduos no Brasil, o resultado esperado é a criação de um produto de baixo custo, fácil implementação e alta precisão, que atenda às necessidades das empresas e contribua para a eficiência na coleta de resíduos urbanos.

Em resumo, a criação de um dispositivo de medição de resíduos de baixo custo e alta precisão desempenha um papel fundamental na otimização dos processos de coleta de resíduos urbanos. Com esse mapeamento, é possível otimizar a rota do caminhão, diminuindo a emissão de gases poluentes e o custo da operação. Além disso, um dispositivo de fácil implementação e custo acessível facilita a adesão das empresas à nova tecnologia, tornando-o uma ferramenta valiosa para aprimorar os processos de coleta de resíduos e contribuir para um ambiente mais sustentável.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Projeto e desenvolvimento de produtos

O processo de projeto e desenvolvimento de produtos (PDP) é fundamental para a competitividade e sucesso das empresas. Para que as empresas possam desenvolver produtos de qualidade e com custos adequados, é necessário que haja uma gestão eficiente do processo de desenvolvimento. Segundo Jun e Suh (2008), o PDP é um processo complexo e iterativo, que requer a cooperação e colaboração de

várias partes interessadas, incluindo designers, engenheiros, fornecedores e clientes. É necessário que haja clareza na definição das atividades do processo, no detalhamento dos estágios de execução e na lógica do processo.

Além disso, a gestão eficiente do PDP tem relação direta com a definição das atividades do processo, o programa da organização, a estratégia da empresa, o clima organizacional e a cultura empresarial (Cooper e Kleinschmidt, 1995). Esses fatores são fundamentais para que as empresas possam desenvolver produtos de qualidade, com custos adequados e dentro do prazo estabelecido.

4.1.1 Modelos de referência

De acordo com Vernadat (1996), os modelos de referência consistem em um conjunto de atividades genéricas que servem como base para o desenvolvimento de modelos específicos. Dentre as atividades que compõem o desenvolvimento de produtos, Clark e Fujimoto (1992) identificam quatro - criação do conceito, planejamento do produto, engenharia do produto e engenharia de produção. Na criação do conceito, é realizada a definição do produto e de seus objetivos mercadológicos. No planejamento do produto, as metas são estabelecidas juntamente com as especificações do produto e seu design de forma simplificada. A engenharia do produto é responsável por realizar o design detalhado e construir os primeiros protótipos, enquanto a engenharia de produção desenvolve o processo de produção do produto.

Pahl e Beitz (1996) desenvolveram uma abordagem sistemática de design em quatro etapas - clarificação da tarefa, etapa na qual são coletadas informações sobre os requisitos e as restrições. Na etapa de projeto conceitual, procura-se os princípios de solução através das estruturas de função. Na forma de realização do projeto, é montado o layout básico e são determinadas as condições técnicas. Já na fase de projeto detalhado, são definidas as dimensões exatas do projeto, materiais e viabilidade.

Cooper (1986) propôs um processo em estágios com etapas de avaliação e aprovação. Nesse processo, o desenvolvimento do produto é dividido em gates (portões), sendo realizadas avaliações em cada estágio, e os gates são responsáveis por definir a possibilidade de travessia para o próximo estágio.

Por sua vez, Rozenfeld et al. (2006) propõem um modelo de desenvolvimento de produto dividido em três macro-fases - pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Devido à sua abordagem ampla e fácil aplicação, o desenvolvimento do produto deste trabalho será realizado a partir desse modelo.

Assim, é possível observar que a utilização de modelos de referência é uma prática comum no desenvolvimento de produtos, sendo que cada autor tem uma abordagem específica para a realização do processo. Nesse sentido, a escolha do modelo a ser utilizado dependerá das características do projeto em questão e dos objetivos a serem alcançados.

4.1.2 Modelo unificado de Rozenfeld *et al.* (2006)

O modelo unificado de Rozenfeld *et al.* (2006) é um modelo bastante completo e detalhado que contempla nove fases, as quais são distribuídas entre as macrofases de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Após a conclusão de cada fase, é realizada a atualização do plano correspondente, seguida de uma revisão de viabilidade econômico-financeira e etapa de avaliação (gate) que é essencial para que o projeto avance para a próxima fase. Ademais, todas as decisões e aprendizados são documentados no fim de cada fase, o que contribui para a gestão do conhecimento.

No pré-desenvolvimento, há as fases de planejamento estratégico de produtos e planejamento do projeto. Durante o planejamento estratégico de produtos, é elaborado um plano estratégico para o produto a partir do plano estratégico da empresa. Já na fase de planejamento do projeto, é definido o escopo e planejamento do projeto do produto.

A macrofase de desenvolvimento é composta pelas fases de projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação da produção e lançamento do produto. Na fase de projeto informacional, é definido o conceito e arquitetura do produto. Na fase de projeto conceitual, são definidas as especificações-meta do produto. Na fase de projeto detalhado, são elaborados cálculos, desenhos com as medidas e especificações, protótipos e planos de lançamento, venda e pós-venda do produto. Na preparação da produção, são definidas as especificações de máquinas e ferramentas de produção, além de toda a

documentação necessária para produzir o produto com qualidade planejada. Já na fase de lançamento do produto, o produto é lançado e o time de desenvolvimento é desmontado.

Por fim, a macrofase de pós-desenvolvimento é composta pelas fases de acompanhamento do produto e processo e descontinuação do produto no mercado. Na fase de acompanhamento do produto, é avaliada a satisfação do cliente e acompanhado o desempenho do produto. Na fase de descontinuação do produto, é cumprido um cronograma pré-definido de descontinuação, com o objetivo de assegurar que a retirada do produto do mercado ocorra de forma planejada e controlada.

Em relação às contribuições do modelo unificado de Rozenfeld *et al.* (2006), é importante ressaltar que ele propicia uma visão holística do processo de desenvolvimento de produtos, o que permite a antecipação de possíveis problemas e a adoção de medidas preventivas. Além disso, esse modelo contribui para a documentação do processo de desenvolvimento de produtos, o que é fundamental para a gestão do conhecimento e para a melhoria contínua.

4.2 Desenvolvimento de produtos sustentáveis

Atualmente, a maioria das empresas busca o desenvolvimento de produtos que apresentem qualidade, baixo custo e alta lucratividade. Porém, nesse contexto, as questões ambientais são frequentemente vistas como um custo adicional a ser minimizado. Segundo Kaebernick, Kara e Sun (2003), os critérios ambientais são comumente definidos como secundários no processo de desenvolvimento de produtos.

Nesse sentido, o desenvolvimento de produtos sustentáveis (DPS) surge como uma abordagem que considera as questões ambientais desde o início do processo de desenvolvimento. Pujari, Wright e Peattie (2003) definem o DPS como o desenvolvimento de produtos que buscam atender às questões ambientais e, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade do produto.

De acordo com Donaire (1999), a principal característica do DPS é o projeto e a produção de produtos que não agredem o meio ambiente, que apresentam eficiência energética, preservam os recursos naturais e são passíveis de reciclagem, reuso ou armazenagem segura. Assim, o DPS busca integrar a sustentabilidade ao

processo de desenvolvimento de produtos, de modo a considerar aspectos ambientais, sociais e econômicos.

Por sua vez, Rounds e Cooper (2002) afirmam que o DPS é uma abordagem que considera sistematicamente os quesitos ambientais durante todo o processo de desenvolvimento do produto. Dessa forma, o DPS pode ser entendido como uma abordagem holística, que busca integrar a sustentabilidade ao processo de desenvolvimento de produtos, considerando aspectos ambientais, sociais e econômicos de forma integrada.

4.3 Coleta de resíduos

O problema da coleta de resíduos é mais complexo do que a simples coleta periódica de lixo doméstico, envolvendo diferentes tipos de clientes e resíduos. Além dos clientes residenciais, as empresas de coleta também atendem clientes industriais, cujos requisitos são diferentes e exigem tipos de coleta específicos. Os resíduos sólidos municipais incluem todos os tipos de resíduos, exceto materiais perigosos, líquidos e emissões atmosféricas.

A categoria residencial se refere ao resíduo produzido em residências e coletado pelos serviços comunitários, enquanto a categoria comercial inclui clientes industriais e agrícolas, que produzem grandes quantidades de resíduos e estão mais dispersos (Badran e Haggar, 2006). A categoria de materiais perigosos é subdividida em materiais infecciosos e resíduos tóxicos, que são produzidos por clientes comerciais e exigem tratamento especial, incluindo o transporte para incineradores específicos. Portanto, a coleta de resíduos requer uma abordagem cuidadosa e específica para atender às necessidades de cada tipo de cliente e resíduo. (Beliën, Boeck e Ackere, 2014).

Três tipos de coleta de resíduos podem ser destacados -

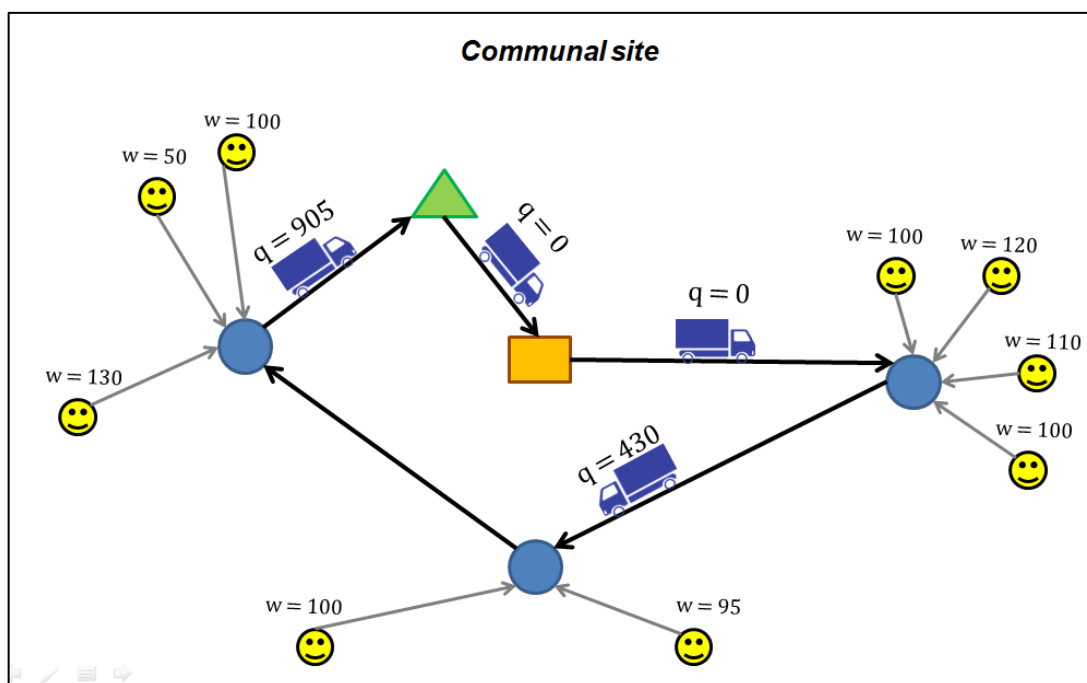
- **Communal Site** - neste estilo de coleta, um local público é definido e compartilhado pelas comunidades para o despejo de seus resíduos. Na figura 1 os clientes vão até os pontos de coleta e despejam seus resíduos individualmente em communal sites. A demanda de cada communal site é a soma das demandas individuais de cada cliente. O veículo sai do depósito com uma utilização da capacidade $q=0$ e viaja até uma instalação de disposição toda vez que sua capacidade chega ao limite.

Após o último ponto de coleta visitado o veículo visita uma instalação de disposição e em seguida volta para o depósito.

- **Contêineres** - Os veículos de coleta geralmente têm um dispositivo de carregamento específico instalado e têm capacidade para apenas um contêiner. Na figura 2 o veículo sai vazio do depósito, visita o primeiro contêiner e sempre passa em uma instalação de disposição depois de visitar cada ponto de coleta. Após o último ponto visitado, veículo volta para o depósito

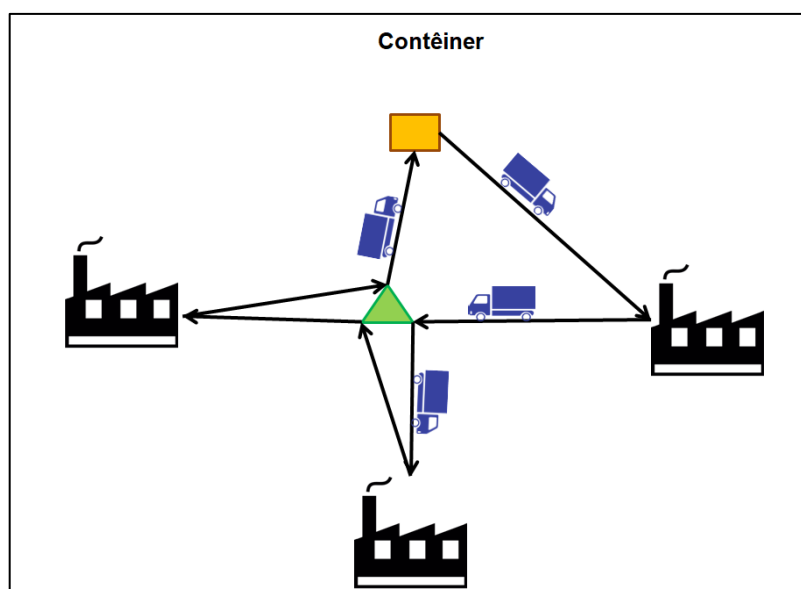
Kerbside - Os proprietários colocam seus caixotes de lixo e os recuperam depois que a coleta é realizada pelo veículo. Os veículos de coleta passam por todas as ruas para pegar o lixo em uma data pré-estabelecida. Na figura 3 o veículo sai vazio do depósito e passa em cada cliente individual e em uma instalação de disposição após atingir seu limite de capacidade. Ao visitar o último cliente o veículo deve passar em uma instalação de disposição antes de voltar ao depósito.

Figura 1 - Representação da coleta Communal site



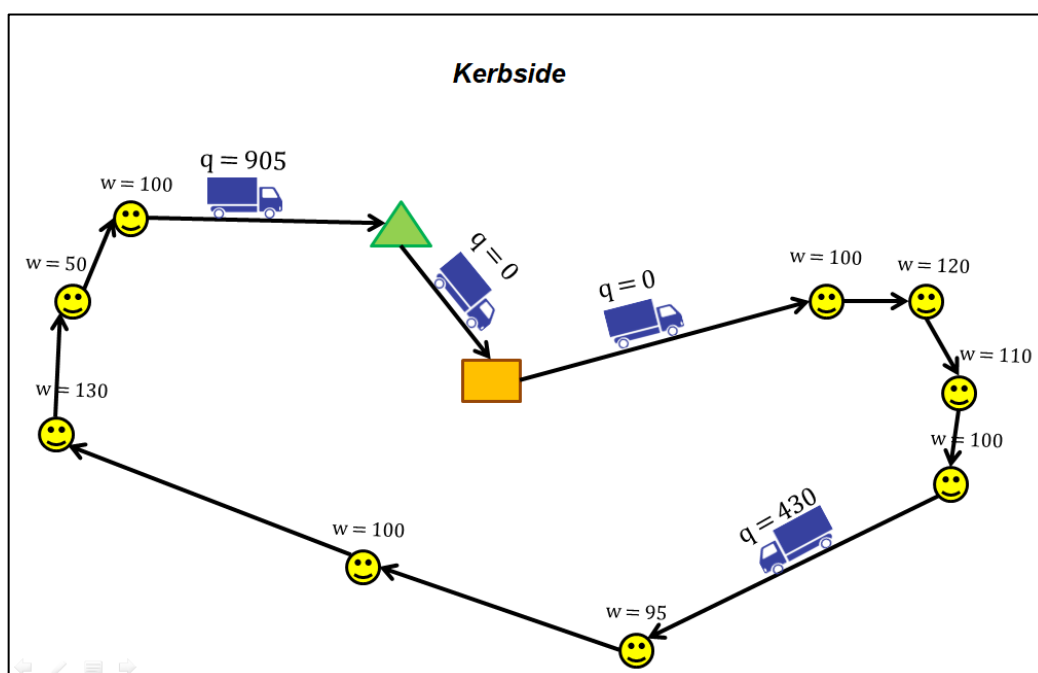
Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 2 - Representação da coleta tipo contêiner



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 3 - Representação da coleta tipo Kerbside



Fonte: Autoria Própria (2023)

4.4 Dispositivos de coleta de dados de demanda de resíduos

Diversos autores têm desenvolvido dispositivos de coleta de dados de demanda de resíduos. Rovetta *et al.* (2009) apresentam a detecção e avaliação precoce de resíduos por meio de recipientes sensorizados para um aplicativo de

monitoramento de coleta, uma nova aplicação para uso no monitoramento de resíduos sólidos urbanos, baseada em tecnologia de sensores distribuídos e sistemas de informações geográficas.

Singh, Aggarwal e Arora (2016) propõem uma Sistema de coleta de lixo baseado em IoT que usa sensores infravermelho para coletar dados em tempo real das lixeiras para comunicar essas informações aos gestores de resíduos. Os gestores de resíduos podem efetivamente usar essas informações para otimizar o agendamento e o encaminhamento do processo de coleta.

Chowdhury e Chowdhury (2007) descrevem um modelo de RFID e sensores para projetar um sistema de gerenciamento de resíduos em tempo real. Yusof *et al.* (2018) apresentam um projeto de lixeira inteligente com sistema de monitoramento em tempo real baseado em uma rede de sensores sem fio e possui quatro subsistemas interligados - energia solar, lixeira inteligente, notificação via SMS e monitoramento em tempo real. O objetivo é criar um ambiente limpo, saudável e verde.

4.5 Simulação

A simulação é uma técnica amplamente utilizada no campo da pesquisa operacional para representar o funcionamento de um processo ou sistema real em um determinado período de tempo. Conforme explicado por Banks, Carson e Nelson (1996), ela envolve a criação de uma história artificial desse sistema e a observação dessa história para fazer inferências sobre as características do processo real. Para realizar uma simulação, é necessário desenvolver um modelo que represente o sistema a ser investigado, como indicado por Hillier e Liberman (1995). Esse modelo é uma representação explícita e externa de um extrato parcial da realidade vista pela pessoa que deseja usar o modelo para entender, mudar, gerenciar, indicar políticas e controlar parte daquela realidade, de acordo com Pidd (1996).

Na engenharia, a simulação é frequentemente empregada para abordar situações em que se busca compreender as características de um sistema com base no conhecimento de outro sistema similar, conforme destacado por Prado (2004). Essa técnica permite que os engenheiros e demais profissionais envolvidos no processo de desenvolvimento possam testar diferentes cenários e identificar possíveis problemas antes de implementar o sistema em questão. Além disso, a

simulação também pode ser utilizada para aprimorar a eficiência e a produtividade de sistemas já existentes, possibilitando a realização de ajustes e melhorias sem prejudicar o funcionamento normal do sistema real.

4.5.1 Simulação de Monte Carlo

A simulação computacional é uma técnica utilizada quando um modelo matemático se torna muito complexo para a descrição de um sistema, e pode ser uma alternativa para problemas que não possuem uma solução analítica. O método de simulação de Monte Carlo (SMC) é utilizado para realizar simulações computacionais com modelos que envolvem amostragens aleatórias de uma distribuição probabilística (MOORE; WEATHERFORD, 2001).

A técnica de simulação de Monte Carlo é aplicada em problemas de tomada de decisão que envolvam risco e incerteza, ou seja, situações em que o comportamento das variáveis envolvidas com o problema não é de natureza determinística (LUSTOSA; PONTE; DOMINAS, 2004). Os principais desenvolvedores da técnica são os norte-americanos John Von Neumann e Stanislaw Ulam. Embora diversos problemas estatísticos de amostragem aleatória já tenham sido resolvidos com a SMC antes de 1949, a dificuldade de utilização manual da técnica impediu sua disseminação até a chegada dos computadores (SOBOL, 1994).

De acordo com Lustosa, Ponte e Dominas (2004), a técnica de simulação de Monte Carlo consiste na geração de números aleatórios para atribuir valores às variáveis do sistema investigado. A fim de garantir uma boa representatividade da amostra, a simulação deve ser replicada mais de cem vezes. Segundo Cox *et al.* (2001), o processo de avaliação da incerteza da medição com a SMC é feito em duas etapas - o estabelecimento do modelo de medição e a avaliação do modelo.

4.6 Microcontroladores

Com o avanço tecnológico, tornou-se possível encontrar diversos modelos de microprocessadores e microcontroladores no mercado com preços acessíveis e alto nível de processamento (TAVELLA & BURDELIS, 2007). A presença de um microcontrolador em um equipamento permite a incorporação de recursos complementares, baseados em medições realizadas, através de cálculos básicos (TAVELLA, 2007).

O microcontrolador pode ser entendido como a incorporação de um microprocessador e sistemas de temporização, aquisição e comunicação em um único circuito integrado. Plataformas de desenvolvimento baseadas em microprocessadores, como o Arduíno, são amplamente utilizadas em projetos de diversas áreas do conhecimento (FONSECA & VEGA, 2011; ARDUINO, 2012).

5 METODOLOGIA

5.1 Delineamento da pesquisa

A pesquisa visa aplicar conhecimentos existentes para resolver um problema prático, portanto, segundo Gerhardt e Silveira (2009), possui natureza aplicada. Quanto à forma de abordagem do problema, classifica-se como sendo combinada segundo Cervo e Bervian (1983), pois utiliza tanto abordagens quantitativas quanto qualitativas para compreender o problema sob diferentes perspectivas. Em relação aos procedimentos técnicos classifica-se como uma pesquisa bibliográfica segundo (Gil, 1991), pois se baseia principalmente em fontes bibliográficas existentes.

5.2 Pré-desenvolvimento

Foi realizado um levantamento das características e necessidades de uma empresa que se adequa ao perfil de utilização do produto proposto. Foram considerados aspectos como o ramo de atividade, o porte da empresa, os processos internos e outras variáveis relevantes. A análise criteriosa desses elementos permite identificar as empresas que poderiam se beneficiar com a implementação do produto proposto.

Com base no perfil empresarial definido na etapa anterior, foi feita a descrição de produtos e serviços dos quais uma empresa desse perfil possui. Essa lista abrange tanto os produtos e serviços existentes, que poderiam ser aprimorados com a adoção do produto proposto, quanto possíveis novos serviços que poderiam ser viabilizados após o desenvolvimento e implementação do produto. O Planejamento do Projeto é a própria metodologia do trabalho.

5.3 Desenvolvimento

5.3.1 Projeto informacional

Nesta fase do projeto, foi realizado o projeto informacional, cujo objetivo é identificar os requisitos do cliente e definir as especificações-meta do produto. Como o cliente é a própria empresa interessada, não foi necessário realizar uma pesquisa de mercado, pois os requisitos já foram estabelecidos previamente. Portanto, o foco

foi na identificação dos requisitos específicos que atendam às necessidades da empresa.

Inicialmente, foi descrito o ciclo de vida proposto para o produto. Em seguida, três empresas foram entrevistadas para que pudessem ser identificados os requisitos do cliente. O próximo passo foi realizar uma série de diagramas de causa e efeito para que pudessem ser definidos os requisitos do produto. Foram definidas especificações-meta através de uma matriz QFD, estabelecendo os parâmetros e critérios que o produto deve atender para satisfazer as necessidades dos clientes.

5.3.2 Projeto conceitual

Nesta fase do projeto, foi realizado o projeto conceitual, que visa modelar o produto funcionalmente e definir os princípios para a solução das funções. Foi apresentada uma representação esquemática da função total do produto, demonstrando a interação entre seus componentes principais. Além disso, foi realizado o desdobramento da função total, identificando as subfunções que compõem o produto e estabelecendo a relação entre elas. Foram desenvolvidas alternativas de solução para o produto com o auxílio de uma tabela que organiza os princípios de solução para cada função do produto. As escolhas das soluções a serem utilizadas foram escolhidas com base em critérios objetivos.

Foi apresentada uma representação gráfica dos circuitos do Arduino. Além disso, foi elaborado um desenho simplificado da caixa plástica que abrigará o circuito, fornecendo informações precisas sobre suas dimensões e outros detalhes relevantes para a montagem. Foi apresentado o layout do aplicativo, além de pseudocódigos do código a ser implementado no Arduino, do aplicativo e da descrição do tratamento, organização e distribuição dos dados de demanda. Adicionalmente, foi desenvolvido um esquema detalhado que ilustra o fluxo de informações desde o dispositivo até o celular e, posteriormente, até o software e o usuário, garantindo a correta transferência e integração dos dados coletados.

Uma descrição dos componentes necessários para a montagem do produto foi elaborada. Foram descritas as etapas do processo de manufatura macro do produto, desde a separação dos componentes até a finalização da montagem. Esse fluxograma permitiu visualizar de forma clara as etapas envolvidas na fabricação do dispositivo.

5.3.3 Projeto detalhado

Nesta etapa, foram detalhados os recursos de fabricação e as especificações técnicas dos Arduino, do módulo Bluetooth, do sensor de distância e da linguagem de programação sugeridos para o desenvolvimento do software. Foram apresentadas sugestões embasadas em critérios objetivos e explicadas as razões para essas sugestões. A complexidade da montagem e a quantidade de dispositivos não demandaram um processo otimizado de fabricação e montagem.

Foi elaborado um fluxograma que detalha a sequência de passos necessária para a montagem e instalação do dispositivo. Esse fluxograma permite visualizar de forma clara e organizada as etapas envolvidas no processo, facilitando a compreensão e execução das atividades. A apresentação de uma lista dos recursos necessários para a montagem e instalação do dispositivo foi feita. Essa lista abrange materiais, ferramentas e equipamentos essenciais para a execução do projeto. A identificação e organização adequada dos recursos contribuirão para o sucesso e eficiência das atividades de montagem e instalação.

Foram desenvolvidos manuais detalhados para a utilização do aplicativo e do software do dispositivo. Esses manuais fornecem orientações passo a passo sobre a configuração, operação e manutenção do software, visando facilitar o entendimento e utilização por parte da empresa interessada.

Para validar o funcionamento do produto, foi realizado um conjunto de testes e simulações. Os procedimentos de teste foram detalhados, e os resultados obtidos foram apresentados em um relatório que descreve as análises realizadas, os resultados obtidos e as conclusões relevantes para o desenvolvimento do projeto.

5.3.4 Preparação da produção

Nesta fase do projeto, foi realizada a preparação da produção, visando garantir a eficiência e qualidade durante o processo de fabricação. Foi apresentado um modelo de checklist para o recebimento dos recursos de produção.

Foi apresentado um fluxograma detalhando o processo de manutenção do produto. Esse fluxograma engloba as etapas desde o recebimento do registro das necessidades de manutenção até a execução das ações corretivas, visando garantir o funcionamento adequado do produto ao longo do tempo.

Foi detalhado o conteúdo de treinamento que deve ser fornecido a cada colaborador de acordo com sua função no processo de produção e utilização do

produto. Foram identificados os conhecimentos e habilidades necessários para desempenhar cada atividade de forma eficiente e segura.

5.3.5 Implementação

Nesta fase do projeto, foram apresentados os modelos e documentos necessários para a correta implementação do dispositivo, visando assegurar o controle e a eficiência durante essa etapa. Foi apresentado um modelo de controle para o planejamento das paradas dos caminhões, necessárias para a instalação do dispositivo. Esse controle permitirá agendar as paradas de forma adequada, minimizando impactos na operação logística da empresa.

Foi disponibilizado um modelo de documento de registro de comunicação entre o motorista e o responsável pela coleta de dados. Esse documento servirá como registro formal das informações transmitidas durante a operação, facilitando a rastreabilidade e a gestão dos dados coletados.

Foi apresentado um modelo de ordem de serviço de manutenção, a ser utilizado no caso de defeito ou falha no dispositivo. Esse documento padronizado auxiliará na comunicação e no gerenciamento das atividades de manutenção, garantindo a rápida resolução de problemas e a continuidade das operações.

Foi disponibilizado um modelo de checklist de implementação, que contemplará os principais pontos a serem verificados e executados durante a implementação do dispositivo. Esse checklist servirá como guia para garantir que todas as etapas necessárias sejam devidamente cumpridas.

Foram sugeridos alguns indicadores de desempenho para o gerenciamento da implementação do dispositivo. Esses indicadores permitirão monitorar e avaliar a eficácia das etapas de Implementação.

5.4 Pós-desenvolvimento

5.4.1 Acompanhamento do produto e processo

Nesta fase do projeto, foi realizada a proposta de avaliação contínua do produto e do processo, a fim de garantir o seu bom desempenho e identificar oportunidades de melhoria. Para isso, foram sugeridos critérios a serem avaliados pelos utilizadores do produto. Essas sugestões podem direcionar a empresa a coletar informações relevantes sobre a experiência de uso do produto, visando identificar pontos fortes, oportunidades de aprimoramento e possíveis problemas enfrentados pelos utilizadores.

5.4.2 Descontinuação do produto

Foi elaborado um processo de descontinuação do produto para quando a empresa decidir investir em uma tecnologia mais sofisticada ou identificar a necessidade de substituição do produto por uma solução mais atualizada. Foram descritos critérios de avaliação para a nova tecnologia.

Foi detalhado um conjunto de medidas para o processo de transição de dados do produto existente para a nova solução, para retirada dos dispositivos do produto anterior e à implementação da nova tecnologia para quando uma nova tecnologia for aprovada. Foram abordados aspectos como desinstalação dos dispositivos, atualização de sistemas, treinamento dos colaboradores, integração da nova solução ao ambiente operacional da empresa e os procedimentos necessários para migrar os dados de forma segura e precisa, garantindo a continuidade das operações e minimizando possíveis impactos durante a transição.

6 PRÉ-DESENVOLVIMENTO

6.1 Características e necessidades do negócio

Antes de desenvolver o produto, é importante verificar se ele atende aos requisitos da empresa. Para isso, é necessário analisar as características e demandas do negócio e avaliar se a implementação do produto é necessária. O produto é adequado para empresas envolvidas em atividades como coleta de resíduos, transporte, reciclagem, gestão ambiental, entre outros.

A organização na qual o projeto é destinado, é uma empresa comprometida com práticas sustentáveis e possui a necessidade de monitorar e gerenciar de forma eficiente a coleta e o volume de resíduos. O produto pode ser adaptado para atender empresas de diferentes portes, desde pequenas e médias empresas até grandes corporações. O porte da empresa influencia a escala de implementação.

É necessário possuir processos de coleta, transporte e tratamento de resíduos que possam ser otimizados com a utilização do produto. A empresa deve possuir uma infraestrutura tecnológica mínima para suportar a implementação e operação do produto. Isso pode envolver acesso a dispositivos móveis, conexão à internet, capacidade de armazenamento de dados e sistemas de gestão.

A disposição da empresa para investir em treinamentos para capacitar sua equipe no uso do dispositivo, interpretação dos dados coletados e resolução de problemas relacionados se torna essencial. A capacitação da equipe é essencial

para garantir a eficácia do produto e sua integração aos processos internos. A empresa deve possuir uma cultura organizacional que valorize a melhoria contínua e a cooperação entre os setores. Apesar de o produto proposto oferecer ser uma alternativa de baixo custo, a empresa deve possuir uma pequena disponibilidade de recursos financeiros para investir na aquisição do produto, na infraestrutura tecnológica necessária e na capacitação da equipe.

Além disso, o produto é direcionado para empresas que possuem o objetivo de melhorar a eficiência operacional, reduzir os custos e otimizar a rota de coleta. O produto pode ser útil diante de ameaças, como aumento ou intensificação da concorrência e baixa previsibilidade de demanda e pode permitir oportunidades como redução de custos, viabilidade de novos serviços e possibilidade de otimização das rotas de coleta. A implementação do produto pode mitigar ou eliminar fraquezas como altos custos operacionais, falta de controle e monitoramento da demanda e baixo orçamento para investimentos em novas tecnologias. Frota própria, oficina própria e colaboradores com conhecimentos em eletrônica e programação seriam forças que facilitariam o desenvolvimento do produto.

6.2 Caracterização dos serviços da empresa

O produto proposto, o dispositivo de medição de lixo para mapeamento de demanda, possui utilidade em empresas que atuam na prestação de serviços de coleta de resíduos de todos os tipos, tanto no setor público quanto no privado. Por meio desse dispositivo, é possível obter dados precisos e atualizados sobre a demanda de coleta de resíduos, permitindo uma gestão mais eficiente e estratégica dessas atividades.

A implementação desse produto pode viabilizar a oferta de novos serviços por parte da empresa. Por exemplo, a realização do mapeamento da demanda de coleta pública de resíduos para uma determinada cidade, por meio da coleta de dados com o dispositivo, possibilita a obtenção de informações valiosas sobre os pontos de maior concentração de resíduos, os horários de pico de descarte e outras características relevantes.

Além disso, o dispositivo também pode ser aplicado em outras empresas de coleta de resíduos, auxiliando na otimização de suas rotas e no planejamento estratégico das atividades de coleta. Com base nos dados coletados, é possível

identificar padrões de demanda, ajustar a capacidade de coleta de acordo com as necessidades dos clientes, reduzir o tempo de coleta e aprimorar a eficiência geral do processo. Essas novas possibilidades de serviços oferecidas pela empresa representam uma oportunidade para agregar valor aos clientes, melhorar a eficácia operacional e fortalecer a posição competitiva no mercado.

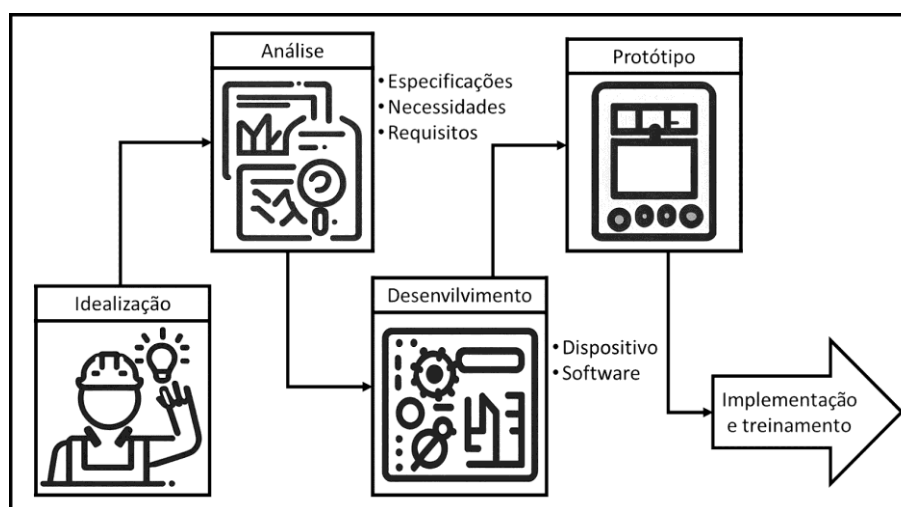
7 DESENVOLVIMENTO

7.1 Projeto informacional

7.1.1 Trajetória do produto

Nas fases de concepção e desenvolvimento, a empresa identifica a necessidade de desenvolver um método para medir a quantidade de resíduos por ponto de demanda. É realizada a análise das necessidades internas da empresa e definição dos requisitos e especificações do dispositivo. O hardware e software são projetados e o protótipo é fabricado. A Figura 4 resume o processo de concepção e desenvolvimento do dispositivo.

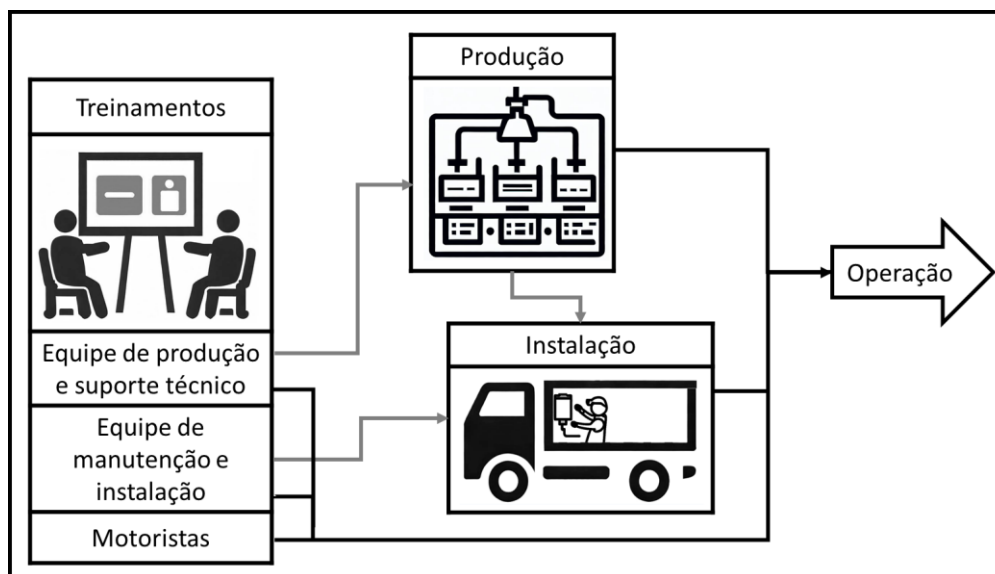
Figura 4 - Resumo da concepção e desenvolvimento



Fonte: Autoria Própria (2023)

Nas fases de produção e implementação interna, ao invés de ser comercializado, o dispositivo é produzido e utilizado pela própria empresa que o desenvolveu para fins internos. Após a produção e treinamento dos colaboradores que irão participar da operação, ele é instalado nos caminhões de coleta pela equipe de manutenção e instalação e a operação é iniciada logo em seguida. A Figura 5 resume a produção e implementação interna.

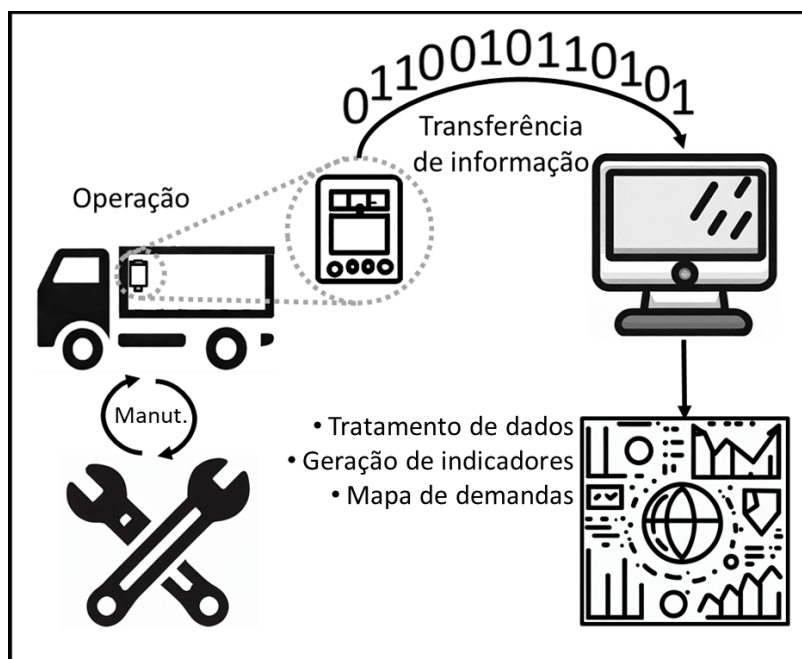
Figura 5 - Resumo da produção e implementação interna



Fonte: Autoria Própria (2023)

Durante a fase de operação, o dispositivo é utilizado regularmente pela equipe da empresa. O dispositivo realiza a coleta de dados, medindo a quantidade de resíduos durante a operação. Essas informações são armazenadas e posteriormente tratadas e analisadas para gerar insights sobre a demanda de coleta. A empresa é responsável pela manutenção e suporte técnico do dispositivo. A Figura 6 resume a operação

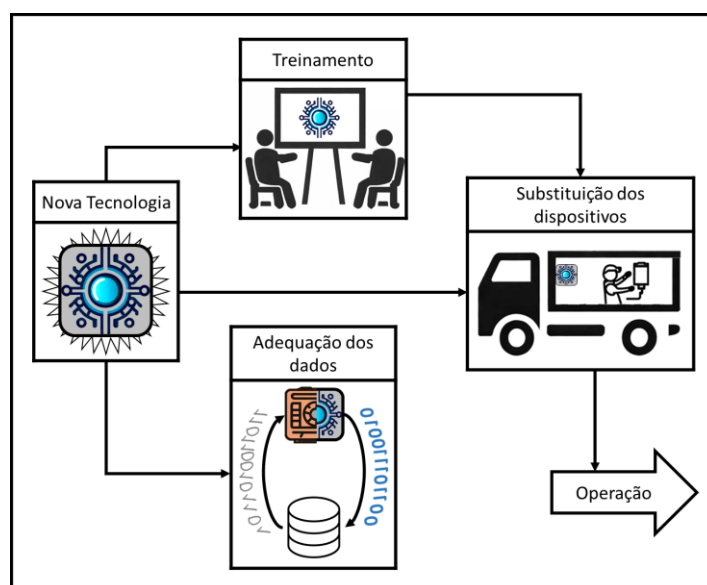
Figura 6 - Resumo da operação



Fonte: Autoria Própria (2023)

Quando a empresa decide investir em uma solução mais sofisticada ou atualizada, o dispositivo é descontinuado. Essa decisão pode ser tomada com base em avanços tecnológicos, mudanças nas necessidades da empresa ou estratégias de negócio. A descontinuação implica na comunicação interna sobre a substituição e adoção da nova solução, adaptação do banco de dados às estruturas da nova tecnologia, aplicação de um novo treinamento aos colaboradores, retirada e substituição dos dispositivos dos caminhões de coleta. A Figura 7 resume a descontinuação do produto.

Figura 7 - Resumo da descontinuação



Fonte: Autoria Própria (2023)

7.1.2 Requisitos do cliente

Uma pesquisa abrangente foi conduzida, envolvendo interações com três empresas distintas, com o objetivo de entender suas necessidades e critérios de qualidade para um dispositivo de medição de lixo. A Empresa 1 é do estado do Paraná e as empresas 2 e 3 são de Minas Gerais. Esta pesquisa adotou uma abordagem baseada em perguntas abertas, permitindo que as empresas expressassem suas demandas de maneira ampla e sem restrições. Os resultados dessa pesquisa revelaram as prioridades de qualidade declaradas pelas empresas.

Na abordagem à Empresa 1, inicialmente foram questionadas quais características-chave o produto deveria apresentar para despertar o interesse da

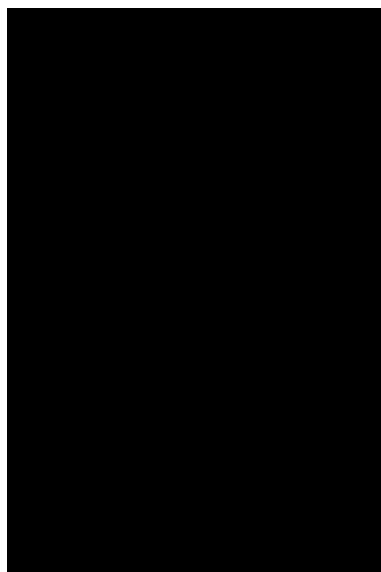
empresa em implementar o projeto. A empresa expressou que a acessibilidade econômica era crucial, visto que não possuía uma cultura voltada à inovação e era resistente a investimentos significativos. O entrevistado da empresa destacou que o proprietário não adquiriria componentes caros ou demandaria longas horas de trabalho dos funcionários. Portanto, era importante que os equipamentos fossem de fácil montagem e que o produto fosse intuitivo de ser utilizado, a fim de acomodar funcionários de diferentes idades com variados níveis de familiaridade com a tecnologia. Além disso, a precisão do produto também foi elencada como uma prioridade.

No caso da Empresa 2, a precisão foi apontada como a característica principal. Além disso, a empresa enfatizou a necessidade de que o produto fosse "barato de fazer", considerando as complexidades do processo de aquisições de valores muito altos. O representante da empresa também ressaltou que a implementação só seria considerada se a manutenção fosse simples, uma vez que a empresa carecia de funcionários com habilidades avançadas para a manutenção de dispositivos complexos. Portanto, era essencial que quaisquer problemas fossem de fácil identificação e resolução.

Por fim, a Empresa 3 identificou a questão financeira como sua principal barreira. A empresa não poderia arcar com máquinas caras e que consumissem muita energia elétrica na fabricação do dispositivo. Além disso, a alta precisão também foi apontada como um critério relevante para atender às necessidades específicas dessa empresa.

Além disso, indagou-se em todas as entrevistas se o custo de produção de R\$100,00 por dispositivo seria um valor aceitável e todas elas afirmaram que sim. Essas informações da pesquisa servem como uma base valiosa para orientar o desenvolvimento do dispositivo, com um foco especial em atender a essas necessidades fundamentais identificadas pelas empresas parceiras de acordo com suas expectativas e limitações. A Figura 8 mostra uma planilha na qual organiza as necessidades das empresas entrevistadas.

Figura 8 - Planilha das necessidades do cliente



Fonte: Aatoria Própria (2023)

É importante notar que tanto o "baixo custo de fabricação" quanto a "boa precisão" foram mencionados por todas as empresas entrevistadas, refletindo a sua importância universal. Portanto, ambos receberam uma classificação de importância com grau 3. Os demais critérios, apesar de significativos, foram classificados com grau 1 de importância. A Figura 9 mostra uma planilha na qual os requisitos do cliente são listados e classificados quanto ao grau de importância.

Figura 9 - Planilha de requisitos do cliente



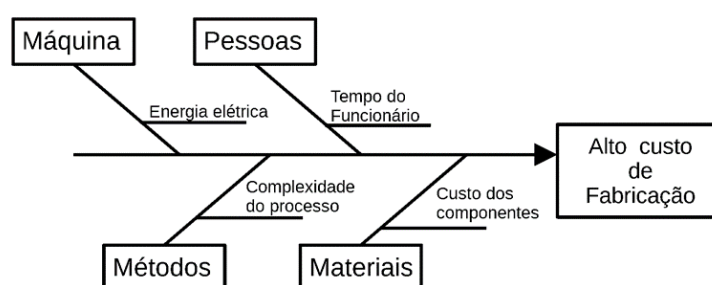
Fonte: Aatoria Própria (2023)

7.1.3 Requisitos do produto

Para a definição dos requisitos do produto, foi adotada a abordagem de elaborar diagramas de Ishikawa para cada requisito do cliente. O propósito central era identificar as causas subjacentes aos problemas associados à deficiência de cada requisito, com a intenção de transformar essas causas em sugestões para possíveis requisitos do produto, capazes de atender às necessidades do cliente de maneira mais eficaz.

O primeiro requisito submetido à análise foi o de "baixo custo de fabricação." Para isso, foi criado um diagrama de Ishikawa com o problema central identificado como "Alto custo de fabricação". As principais causas que emergiram desse processo incluíram o alto consumo de energia elétrica pelas máquinas, o tempo excessivo dedicado à mão de obra na fabricação, a complexidade acentuada do processo de fabricação e os custos elevados dos componentes. A Figura 10 mostra o diagrama de causa e efeito para alto custo de operação.

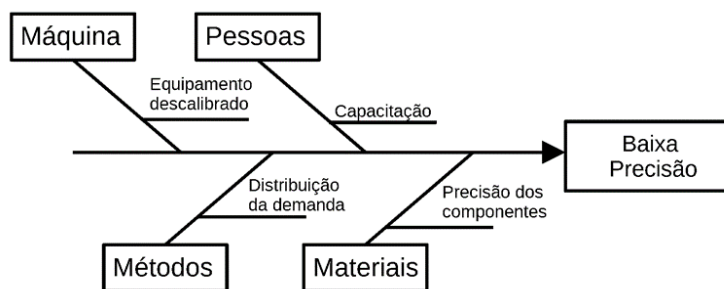
Figura 10 - Diagrama de causa e efeito para alto custo de operação



Fonte: Autoria Própria (2023)

Em seguida, a atenção foi voltada para o requisito de "Precisão" e foi desenvolvido um diagrama de Ishikawa para investigar as possíveis causas de uma baixa precisão. As descobertas apontaram para causas como equipamentos descalibrados, insuficiente capacitação do usuário, um método inadequado de distribuição da demanda entre os fragmentos de área e a baixa precisão dos componentes. A figura 11 mostra o diagrama de causa e efeito para baixa precisão

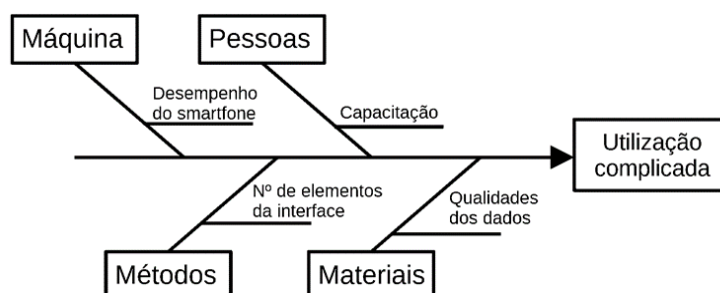
Figura 11 - Diagrama de causa e efeito para baixa precisão



Fonte: Autoria Própria (2023)

O terceiro requisito, envolvia a "Utilização intuitiva". Aqui, foram exploradas as principais causas de uma "Utilização Complicada", isto é, quando os usuários enfrentam dificuldades para operar o produto. Foram identificadas causas que incluíam o desempenho insatisfatório do smartphone, a capacitação inadequada dos usuários, a presença de muitos elementos na interface do aplicativo e a geração de dados de baixa qualidade. A Figura 12 mostra o diagrama de causa e efeito para utilização complicada

Figura 12 - Diagrama de causa e efeito para utilização complicada

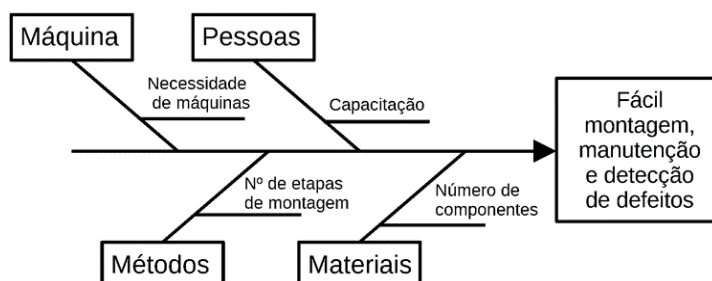


Fonte: Autoria Própria (2023)

Os requisitos de "Fácil montagem", "Fácil manutenção" e "Fácil detecção de defeitos" foram abordados em um único diagrama de Ishikawa, uma vez que se considerou que as deficiências nesses requisitos compartilhavam causas comuns. As problemáticas identificadas incluíam a "capacitação inadequada dos envolvidos", o "alto número de componentes no dispositivo", a existência de "muitas etapas de montagem" e a necessidade de "máquinas para montagem, manutenção ou

detecção de defeitos". A Figura 13 mostra o diagrama de causa e efeito para montagem, fabricação e detecção de defeitos.

Figura 13 - Causa e efeito para montagem, fabricação e detecção de defeitos



Fonte: Autoria Própria (2023)

Em seguida, para sistematizar o conhecimento obtido, foi realizada a compilação de todas as causas identificadas, agrupando-as em uma matriz de afinidades. Esta matriz foi organizada em três categorias distintas - "Características do Projeto," que engloba aspectos influenciados pelo design do produto, como o custo dos componentes, o número de etapas de montagem, o volume de componentes no dispositivo, o design da interface e a precisão do dispositivo. As "Características do Processo" abrangem fatores que podem impactar a qualidade do produto, embora não sejam diretamente afetados pelo design, como a capacitação dos envolvidos, a calibração dos equipamentos e o desempenho do smartphone do usuário.

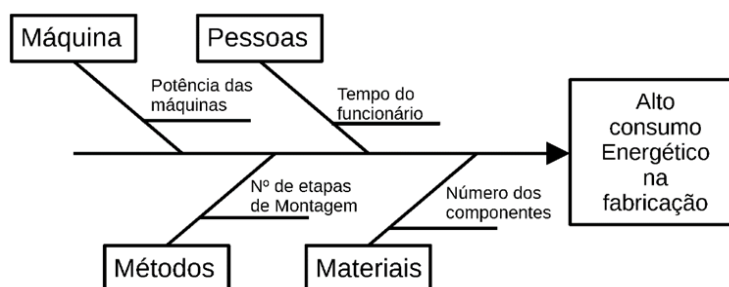
Além disso, foram identificadas "Características Complexas," que envolvem múltiplos fatores e aspectos que podem influenciar o problema. Essas características complexas demandam uma análise mais aprofundada e específica, sendo passíveis de desdobramento em novos diagramas de Ishikawa para desmembrar os fatores ou aspectos em subcausas. Foram consideradas características complexas, fatores como o consumo de energia elétrica, o tempo gasto pelos funcionários e a complexidade do processo de fabricação. A Figura 14 apresenta a matriz de afinidades das características.

Figura 14 - Matriz de afinidades entre características

Características do Projeto	Características do Processo	Características complexas
Custo dos componentes	Capacitação	Energia elétrica
Número do componentes	Equipamento descalibrado	Tempo do funcionário
Nº de elementos da interface	Desempenho do smartfone	Complexidade do processo
Nº de elementos da interface	Necessidade de Máquinas	
Qualidade dos dados		
Distribuição da demanda		
Precisão dos componentes		

Fonte: Autoria Própria (2023)

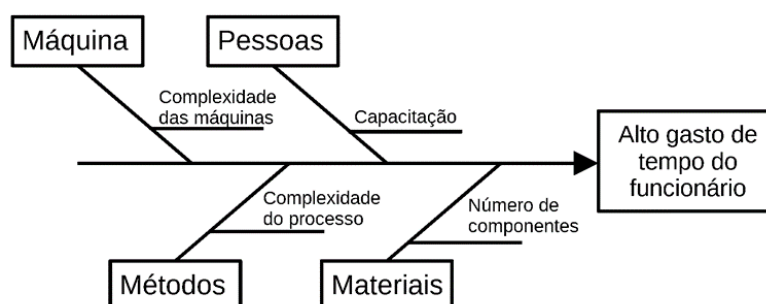
Após a identificação das características complexas, foi feita uma análise mais detalhada por meio da criação de diagramas de Ishikawa para cada uma delas. Inicialmente, focou-se na primeira característica complexa, que se referia ao "consumo energético". O problema central associado era o "alto consumo energético na fabricação". Foram identificadas as causas subjacentes, que incluíram a "alta potência das máquinas", o "excesso de tempo de utilização dos equipamentos pelos funcionários" e o "alto número de etapas de montagem" com um grande volume de componentes. A Figura 15 mostra o diagrama de causa e efeito para alto consumo energético.

Figura 15 - Diagrama de causa e efeito para alto consumo energético

Fonte: Autoria Própria (2023)

A segunda característica complexa, o "tempo gasto pelo funcionário," revelou um problema relacionado ao "alto tempo despendido pelo funcionário em uma tarefa específica." As causas identificadas envolveram a "alta complexidade das máquinas," a "capacitação inadequada dos funcionários," um "processo excessivamente complexo" e um "número significativo de componentes". A Figura 16 mostra o diagrama de causa e efeito para gasto de tempo do funcionário.

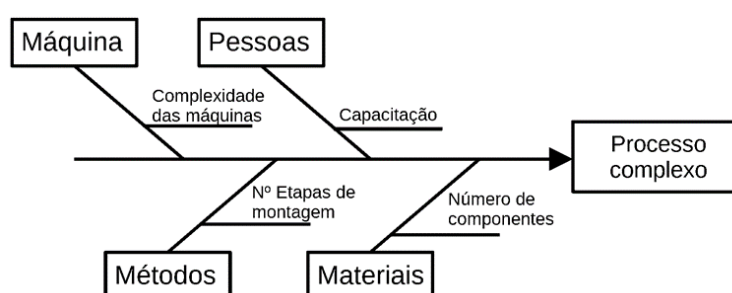
Figura 16 - Diagrama de causa e efeito para gasto de tempo do funcionário



Fonte: Autoria Própria (2023)

Por fim, a terceira característica complexa analisada foi a "Complexidade do processo", que apontou para o problema de um "processo excessivamente complexo". As causas identificadas englobam a "complexidade das máquinas", a "capacitação insuficiente dos colaboradores", um "número excessivo de etapas de montagem" e um "volume substancial de componentes no produto". A Figura 17 mostra um diagrama de causa e efeito para processo complexo.

Figura 17 - Diagrama de causa e efeito para processo complexo



Fonte: Autoria Própria (2023)

As causas desdobradas das características complexas, além de reforçarem a importância das características já identificadas anteriormente, revelaram duas novas características - a "complexidade das máquinas" e a "potência das máquinas". Em resposta a essa descoberta, reformulou-se a matriz de afinidades, retirando a categoria de características complexas. As duas novas características identificadas foram incorporadas ao conjunto das características de processo, ampliando a compreensão dos desafios relacionados à fabricação do produto.

Após a consolidação de todas as características de projeto e de processo, obteve-se uma base mais sólida para a definição dos requisitos do produto. A escolha dos requisitos do produto foi direcionada pela lista de características de

projeto identificadas. Algumas características, como o "Preço dos componentes", o "Número de componentes", o "Número de etapas de montagem" e o "Número de elementos da interface," foram diretamente consideradas como requisitos do produto, uma vez que são caracterizadas de maneira quantitativa e objetiva

No entanto, as características de "Precisão dos componentes", "Qualidade dos dados" e "Precisão da distribuição de demanda" foram agrupadas em uma única subcategoria, que será avaliada por meio de um parâmetro comum. A escolha para medir essa subcategoria recaiu sobre o erro médio absoluto, identificado na matriz apenas como "Erro Médio". Essa métrica foi escolhida uma vez que todas as três características dessa subcategoria estão intrinsecamente relacionadas à precisão. O erro médio absoluto, é demonstrado pela Equação (1), onde EMA é o erro médio absoluto, d_r é a demanda real, d_c é a demanda calculada e n é o número de pontos. A Figura 18 apresenta a Planilha de requisitos do produto e características do processo criada.

$$EMA = \sum \frac{|d_r - d_c|}{n} \quad (1)$$

Figura 18 - Planilha de requisitos do produto e características do processo

	Requisitos do Produto	Características do Processo
	Custo dos componentes	Capacitação
	Número do componentes	Equipamento descalibrado
	Nº de elementos da interface	Desempenho do smartfone
	Nº de etapas de montagem	Necessidade de Máquinas
Erro Médio	Qualidade dos dados	Potência das Máquinas
	Distribuição da demanda	Complexidade das Máquinas
	Precisão dos componentes	

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.1.4 Especificações-meta

Após a definição dos requisitos do cliente e do produto, uma matriz QFD foi elaborada para mapear a relação entre esses requisitos. A atribuição de importância aos requisitos do cliente baseou-se nas frequências identificadas durante as entrevistas, conforme detalhado na seção 7.1.2. Além disso, a força das relações entre os requisitos do produto e do cliente foi fundamentada nos diagramas de Ishikawa apresentados na seção 7.1.3.

A avaliação competitiva considerou as outras duas possíveis soluções para o problema, que são a contratação de uma empresa terceirizada, que possa oferecer um serviço semelhante ao proposto pelo dispositivo e a atribuição simples da demanda média a todos os pontos da área coletada, que resultará no erro médio absoluto sendo igual ao desvio médio absoluto.

As especificações meta estabeleceram limites, como o máximo de 3 elementos na interface para simplicidade, cerca de 10 etapas de montagem para facilitar o processo, e três componentes eletrônicos principais para simplificar a montagem, manutenção e detecção de problemas. O custo total dos componentes foi fixado em aproximadamente R\$100, atendendo à aceitabilidade financeira mencionada pelos representantes das empresas entrevistadas. O erro médio absoluto obtido na simulação, deve ser igual ou inferior à metade do desvio médio absoluto (*DMA*), expressa de duas formas distintas na equação (2). A primeira forma utilizada para representar o desvio médio absoluto considera o valor absoluto da diferença entre a demanda média (d_m) e a demanda real) de cada ponto, enquanto a segunda leva em conta o desvio padrão (s).

Quanto ao grau de importância, o número de componentes foi o requisito mais significativo do produto, atribuindo-lhe uma nota de 16, dado o seu impacto abrangente nos requisitos do cliente. Foi avaliado o grau de dificuldade para o cumprimento de cada requisito do produto, sendo a minimização do erro médio o mais complexo, com nota 3, e a quantidade de elementos na interface como o menos complexo, com nota 1. A consideração da complexidade na realização dos requisitos é crucial para orientar decisões e serve como critério de desempate para requisitos de igual importância. A priorização de requisitos menos complexos, quando igualmente relevantes, é justificada pela economia de recursos para agregar valor semelhante.

Em conclusão, a abordagem sistemática empregada na matriz QFD e a avaliação cuidadosa dos requisitos e especificações meta estabeleceram bases sólidas para o desenvolvimento do dispositivo. Esse processo não apenas orientou o projeto, mas também proporcionou um entendimento profundo das prioridades do cliente, permitindo decisões informadas e eficientes no decorrer do desenvolvimento do produto. A Figura 19 mostra a primeira casa da qualidade criada.

$$\frac{DMA}{2} = \sum \frac{|d_r - d_m|}{2n} = \frac{s}{2\sqrt{n}} \quad (2)$$

Figura 19 - Primeira casa da qualidade

Requisitos do Produto		Direção de melhoria					Avaliação competitiva			
		Importância	Erro Médio	Soma do Preço dos Componentes	Nº Componentes	Nº Etapas de Montagem	Nº Elementos da Interface	Interno	Média	Terceiro
Fabricação	Custo de Fabricação Baixo	3	0	3	3	0	0	5	5	0
	Fácil Montagem	1	0	0	3	3	0	4	5	5
Utilização	Precisão	3	3	0	0	0	0	5	0	5
	Utilização Intuitiva	1	0	0	0	0	3	5	5	3
Manutenção	Fácil Manutenção	1	0	0	2	2	0	4	5	3
	Facilidade de detecção de defeitos	1	0	0	2	1	0	4	5	1
Especificações-Meta		$E = \frac{s}{2\sqrt{n}}$	R\$ 100,00	3	10	3				
Importância Absoluta		9	9	16	6	3				
Complexidade		3	2	2	2	1				

Fonte: Autoria Própria (2023)

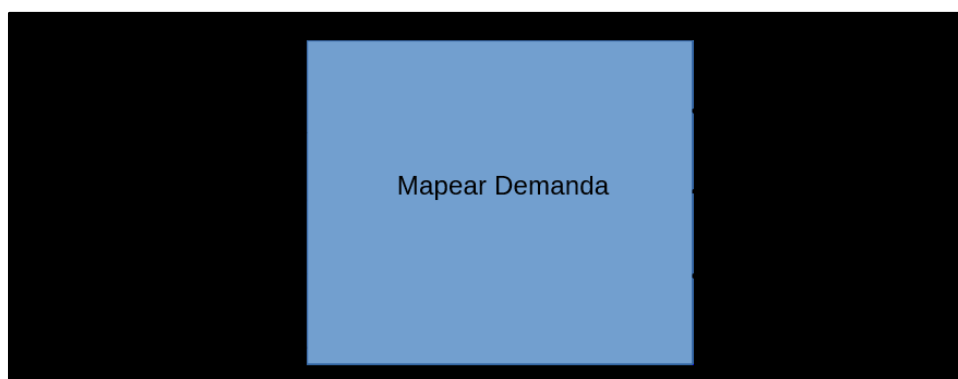
7.2 Projeto conceitual

7.2.1 Função geral da modelagem funcional

Para a modelagem da função geral do produto, foram considerados como inputs as informações de pesagem, parâmetros como localização dos pontos de coleta e rota percorrida, informações de variação de volume obtidas pelo dispositivo, posições geográficas obtidas no momento das medições e a energia elétrica utilizada para o funcionamento do dispositivo. Os outputs são os dados sintetizados,

um mapa de demanda e a energia térmica ocasionada pela dissipação de calor durante o funcionamento do dispositivo. A Figura 20 mostra a função geral da modelagem funcional

Figura 20 - Função geral da modelagem funcional



Fonte: Aatoria Própria (2023)

7.2.2 Modelagem funcional detalhada

Após a elaboração da modelagem funcional geral, foi conduzida uma análise mais aprofundada na forma de uma modelagem funcional detalhada. A Figura 21 oferece uma representação gráfica dessa modelagem, que descreve com maior clareza os componentes e as relações envolvidos no sistema.

A função "Detectar variação de volume" consiste na capacidade do dispositivo em detectar o movimento da chapa compactadora de resíduos. Isso pode ser alcançado por meio de sensores que medem a distância entre o dispositivo e a superfície dos resíduos compactados. Quando ocorre uma variação de volume, a mudança na distância é registrada pelo sensor, indicando a atividade de compactação.

A função "Coletar posições" refere-se à obtenção das posições geográficas do caminhão durante as medições. No momento em que ocorre uma variação de volume, as informações de localização atual e hora são capturadas pelo GPS e relacionadas à variação de volume registrada. Essas informações são armazenadas para análise posterior e rastreamento dos pontos de coleta.

A função "Enviar informações de volume" envolve o envio das informações coletadas pelo dispositivo para o software responsável pelo tratamento dos dados. As informações de volume são transmitidas do dispositivo para o software, permitindo a análise e processamento das medições.

A função "Tratar dados" abrange o tratamento dos dados coletados, visando remover erros e inconsistências nas medições realizadas pelo dispositivo. Esse processo pode envolver a identificação e correção de outliers, a interpolação de valores ausentes e a aplicação de técnicas de suavização para melhorar a qualidade dos dados obtidos.

A função "Organizar dados" refere-se à atribuição adequada das informações de variação de volume e localização geográfica aos pontos de coleta específicos. Os dados coletados são relacionados e associados aos pontos de coleta correspondentes, permitindo uma visão clara das demandas individuais de cada local de coleta.

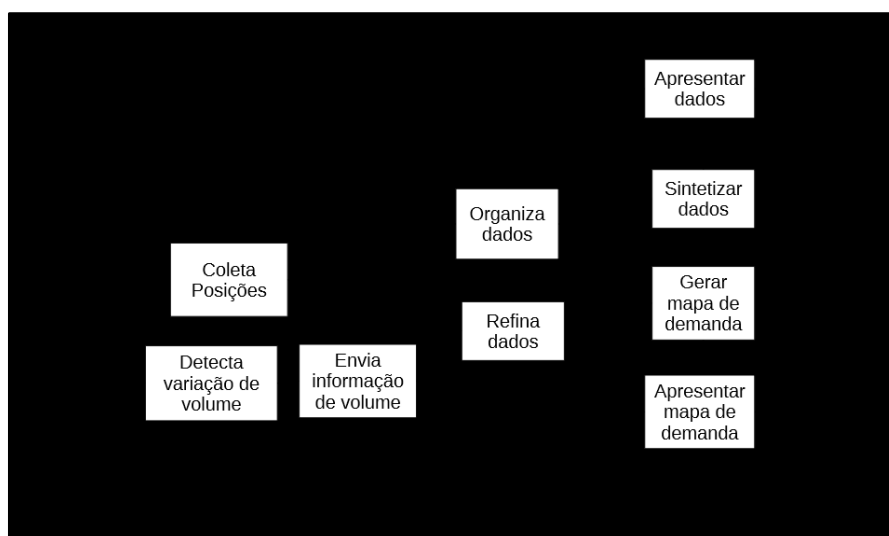
A função "Sintetizar dados" consiste na realização de uma análise estatística descritiva dos dados coletados. Isso envolve a aplicação de métodos estatísticos para obter informações resumidas sobre as medições, como média, desvio padrão, mínimo e máximo. Esses dados sintetizados fornecem uma visão geral das características das variações de volume nos pontos de coleta.

A função "Apresentar dados" diz respeito à forma como os dados sintetizados e organizados são apresentados ao usuário. Isso pode ser feito por meio de uma interface gráfica intuitiva, exibindo gráficos, tabelas e outros elementos visuais que facilitem a compreensão das informações. A apresentação dos dados deve ser clara, organizada e adaptada às necessidades e preferências do usuário.

A função "Distribuir dados" está relacionada ao critério utilizado para uma demanda média entre grupos de pontos de coleta. Isso pode ser baseado em critérios como a proximidade geográfica dos pontos de coleta, a capacidade de armazenamento dos locais ou outras características relevantes. Esse agrupamento auxilia no planejamento e otimização das operações de coleta de resíduos.

A função "Apresentar mapa de demandas" envolve a exibição dos pontos de demanda com suas respectivas demandas médias em um mapa para o usuário, possibilitando assim uma melhor visualização das informações e possibilitando melhores estratégias de distribuição de demanda nas rotas entre os caminhões.

Figura 21 - Modelagem funcional detalhada



Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.3 Princípios de solução das funções

Foram propostos princípios de solução para cada função desempenhada pelo produto, e o Quadro 1 apresenta as funções e suas respectivas sugestões de princípios de solução. Posteriormente, as soluções foram descritas em detalhes.

Para a função “Detectar variação de volume”, existem duas soluções principais a serem consideradas - o sensor óptico e o sensor ultrassônico. O sensor óptico é mais preciso, porém apresenta um custo mais elevado. Por outro lado, o sensor ultrassônico é mais econômico, porém sua precisão é um pouco menor.

Duas soluções são sugeridas para a função “Coletar posições geográficas”. A primeira é utilizar o GPS do celular, onde o sensor de variação de volume envia as informações para o celular, que por sua vez armazena a localização atual e a hora relacionada à variação de volume. Essa solução elimina a necessidade de contratar uma empresa de rastreamento. A segunda opção é utilizar um rastreador, em que as informações de localização são adquiridas por meio de um rastreador de uma empresa especializada. Nesse caso, o software relaciona as informações de localização com as informações de variação de volume, utilizando a data e a hora. Essa solução oferece uma maior garantia de sinal de geolocalização, uma vez que os rastreadores utilizam satélites.

Para a função de “Enviar informações de volume”, as duas soluções a serem consideradas são manual e wireless. A solução manual envolve a exibição das

informações de volume em um display, permitindo que o motorista anote manualmente sempre que ocorrer uma variação de volume. Essa abordagem oferece uma interação direta com o dispositivo, permitindo um controle mais imediato das medições. No entanto, ela requer o envolvimento ativo do motorista e pode estar sujeita a erros de anotação ou perda de dados caso não seja registrado corretamente.

A solução wireless utiliza a tecnologia Bluetooth para enviar as informações de volume para um dispositivo externo, como um celular ou tablet. As medições são transmitidas automaticamente e registradas de forma mais conveniente. Essa abordagem elimina a necessidade de anotações manuais e oferece maior praticidade. No entanto, requer a configuração adequada da conexão sem fio e a compatibilidade entre o dispositivo medidor e o dispositivo receptor das informações.

Na função “Tratar dados”, também existem duas soluções a serem consideradas, que são a manual e automática. A solução manual envolve o processo em que o usuário organiza e corrige eventuais erros ocasionais do dispositivo de medição manualmente em uma planilha ou software dedicado. Essa abordagem permite uma maior flexibilidade e controle sobre a manipulação dos dados, pois o usuário pode ajustá-los conforme necessário. No entanto, ela requer uma intervenção ativa do usuário e pode ser mais suscetível a erros humanos.

A solução automática refere-se a um processo em que o próprio software responsável pelo dispositivo de medição realiza o refinamento dos dados de forma automática. O software utiliza algoritmos e técnicas específicas para identificar e corrigir erros, garantindo a qualidade dos dados coletados. Essa abordagem é mais eficiente e reduz a dependência da intervenção humana. No entanto, pode exigir uma configuração e calibração adequadas do software para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados.

Para a função de “Organizar dados”, também há duas soluções sugeridas - manual e automática. A solução manual envolve o próprio usuário alocando cada informação de volume, hora e localização em seus devidos campos, seja em uma planilha ou sistema de gerenciamento específico. Essa abordagem oferece flexibilidade e controle total sobre a organização dos dados, permitindo que o usuário personalize a estrutura e o formato das informações conforme necessário.

No entanto, ela requer uma intervenção manual e pode ser mais demorada em termos de processamento e classificação dos dados.

A solução automática refere-se ao uso de um software que realiza a organização dos dados automaticamente, seguindo uma estrutura pré-definida. O software utiliza algoritmos e técnicas de classificação e filtragem para organizar os dados de acordo com os campos designados. Essa abordagem oferece uma maior velocidade e eficiência no processamento dos dados, reduzindo a carga de trabalho manual. No entanto, pode ser menos flexível em termos de personalização, pois segue uma estrutura predefinida.

Para a função de “Sintetizar dados”, duas soluções são propostas - padronizada e feita pelo usuário. A solução padronizada envolve a aplicação de uma estatística padrão sobre os dados coletados. O software responsável pelo dispositivo de medição utiliza algoritmos pré-definidos para realizar cálculos estatísticos, como média, desvio padrão, histogramas ou outras medidas relevantes. Essa abordagem oferece uma visão resumida e objetiva dos dados, permitindo uma compreensão rápida das informações principais. No entanto, a aplicação de uma estatística padronizada pode limitar a personalização e a adaptação aos requisitos específicos do usuário.

A solução feita pelo usuário fornece um banco de dados com as informações coletadas, permitindo que o usuário realize sua própria análise e síntese dos dados. Essa abordagem oferece uma maior flexibilidade e personalização, permitindo que o usuário aplique técnicas estatísticas ou utilize ferramentas adicionais de análise de dados conforme suas necessidades específicas. No entanto, essa solução requer conhecimentos em estatística e pode exigir um maior envolvimento do usuário na interpretação e extração de insights dos dados.

Na função de “Apresentar dados”, também são sugeridas duas soluções - padronizada e feita pelo usuário. A solução padronizada envolve o software responsável pelo dispositivo de medição apresentando os dados coletados de forma pré-definida. O software utiliza interfaces gráficas e relatórios predefinidos para exibir as informações de volume, hora, localização ou outras métricas relevantes. Essa abordagem oferece uma visualização padronizada e intuitiva dos dados, facilitando a compreensão e a tomada de decisões. No entanto, pode haver

limitações em termos de personalização e adaptação aos requisitos específicos do usuário.

A solução feita pelo usuário permite que o usuário personalize a apresentação dos dados de acordo com suas necessidades e preferências. O software disponibiliza ferramentas e recursos que permitem a criação de visualizações personalizadas, como gráficos, tabelas, mapas ou outros formatos visuais. Essa abordagem oferece uma maior flexibilidade e adaptabilidade, permitindo que o usuário apresente os dados de acordo com suas preferências e requisitos específicos. No entanto, pode exigir conhecimentos adicionais em ferramentas de visualização e design.

Para a função de “Distribuir dados de demanda”, são apresentados dois critérios. No critério 1, a demanda dos pontos de coleta é agrupada por pequenas áreas no mapa. O software responsável pelo dispositivo de medição utiliza técnicas de georreferenciamento e análise espacial para identificar e agrupar os pontos de coleta em pequenas áreas do mapa. Os pontos agrupados são somados e divididos pela área total da região delimitada, obtendo assim a demanda média por metro quadrado de cada pequena região. Isso permite uma distribuição mais precisa dos dados de demanda, facilitando a compreensão das variações e necessidades em diferentes áreas geográficas.

No critério 2, a demanda dos pontos de coleta é agrupada por rua. Nessa abordagem, o software responsável pelo dispositivo de medição utiliza informações de localização e dados de georreferenciamento para identificar as ruas em que os pontos de coleta estão localizados. Toda a demanda de uma mesma rua é somada e dividida pelo seu comprimento. Dessa forma, obtém-se a demanda média por metro em cada rua

Quadro 1 - Princípios de solução das funções

Funções	Princípios de Solução	
Coletar posições	GPS do celular	Rastreador
Detectar variação de volume	Sensor ótico	Sensor Sonoro
Enviar informações de volume	Manual	Wireless
Tratar dados	Manual	Automático
Organizar dados	Manual	Automático
Sintetizar dados	Padronizado	Feito pelo usuário
Apresentar dados	Padronizado	Feito pelo usuário
Distribuir dados de demanda	Critério 1	Critério 2

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.4 Escolhas dos princípios de solução

As escolhas de soluções para as funções do dispositivo foram cuidadosamente avaliadas com base em critérios técnicos e operacionais. O quadro 2 resume as escolhas das soluções para funções com seus respectivos motivos.

Para a função de coletar posições geográficas, optou-se pelo uso do GPS do celular devido à sua ampla disponibilidade, facilidade de implementação, baixo custo e capacidade de fornecer informações precisas de localização. Quanto à detecção de variação de volume, foi selecionado o sensor ultrassônico devido à sua relação custo-benefício, simplicidade de uso e capacidade satisfatória de medição. Para o envio de informações de volume e foi escolhida a comunicação sem fio, aproveitando a tecnologia Bluetooth do smartphone, permitindo uma transferência eficiente e rápida dos dados coletados.

No que diz respeito ao tratamento, organização e sintetização de dados, optou-se por uma abordagem automatizada, visando minimizar erros e agilizar o processamento das informações. Essa decisão baseou-se na premissa de que o tratamento manual poderia resultar em erros humanos e demandar mais tempo e esforço por parte dos usuários. Caso o usuário queira utilizar os dados coletados pelo dispositivo de forma personalizada, ele poderá utilizar os dados brutos coletados e tratá-los da forma que considerar mais adequada.

Quanto ao critério de distribuição de demanda, escolheu-se o Critério 1, que consiste em agrupar a demanda dos pontos de coleta por pequenas áreas no mapa. Essa abordagem permite uma visualização mais detalhada da distribuição de demanda e facilita a identificação de regiões com maior concentração de resíduos, além de exigir uma implementação mais simples sem perder a acurácia dos resultados.

Quadro 2 - Escolha das soluções

Função	Solução escolhida	Motivos
Coletar posições	GPS celular	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade • Facilidade de implementação • Baixo custo • Precisão satisfatória
Detectar variação de volume	Sensor ultrassônico	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo • Precisão satisfatória • Simplicidade de uso
Enviar variação de volume	Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> • Rapidez • Eficiência • Aproveita tecnologia do smartfone
Distribuir dados de demanda	Critério 1	<ul style="list-style-type: none"> • Simples implementação • Precisão satisfatória
Tratar, organizar e sintetizar dados	Automático com a disponibilização dos dados brutos	<ul style="list-style-type: none"> • Previne erros humanos • Praticidade • Possibilidade de personalização

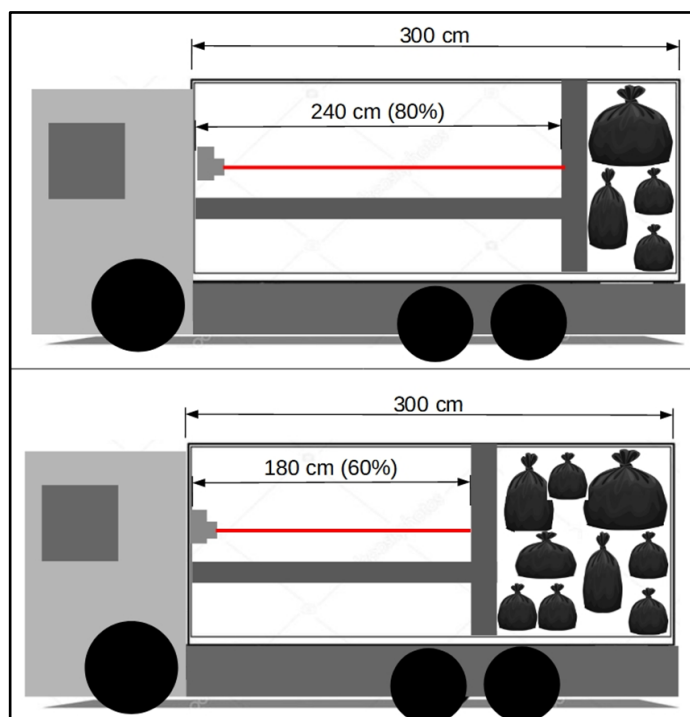
Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.5 Funcionamento do dispositivo

Na Figura 22, é possível observar como o dispositivo realiza a estimativa da quantidade de resíduos no caminhão de coleta em tempo real. Na primeira situação, representada, o caminhão está preenchido a 20% de sua capacidade. O "laser vermelho" que parte do dispositivo em direção à chapa compactadora é ilustrativo, simbolizando o processo de medição por meio de sinais ultrassônicos. O dispositivo, ao detectar uma distância de 240 cm, aproveita o conhecimento de que a distância máxima mensurável é de 300 cm. Com base nessa análise, conclui-se que a chapa compactadora está a 80% da distância máxima, indicando que o caminhão encontra-se 80% vazio e, conseqüentemente, 20% cheio.

Na segunda situação, representada na Figura 22, observa-se o mesmo caminhão alguns minutos depois, com o dispositivo medindo uma distância de 180 cm até a chapa compactadora. Portanto, nesta situação, o caminhão está 60% vazio e 40% cheio. Essa abordagem permite que o dispositivo estime a demanda de resíduos em tempo real ao longo de todo o percurso do caminhão. Posteriormente, esses dados podem ser exportados para análise e tratamento adequados, contribuindo para um monitoramento eficaz e otimização do processo de coleta de resíduos.

Figura 22 - Representação da movimentação da chapa

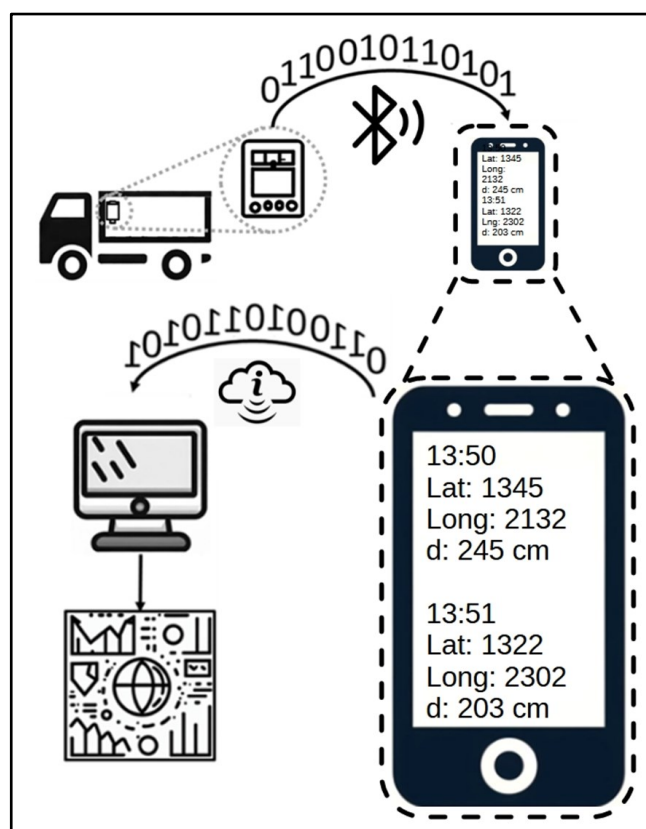


Fonte: Autoria Própria (2023)

A Figura 23 esquematiza o fluxo de dados desde a coleta realizada pelo dispositivo até o processo de tratamento, que culmina na obtenção do mapa de demandas. O processo tem início com o dispositivo coletando informações durante a operação de coleta. A cada intervalo de 10 segundos, o dispositivo envia um sinal via Bluetooth para o smartphone ao qual está pareado, comunicando a medição atual da distância entre o dispositivo e a chapa compactadora. Posteriormente, o smartphone registra a hora e a localização geográfica atual. Esse ciclo de coleta e envio de dados se repete ao longo de toda a operação de coleta.

Ao término da coleta, o motorista encaminha as informações diretamente do smartphone para o responsável pelos dados, utilizando a internet, seja por meio de e-mail ou ferramentas de mensagens instantâneas. Com os dados em sua posse, o responsável pelos dados inicia o processo de tratamento por meio do software apropriado. Este tratamento envolve a organização, análise e preparação das informações necessárias para a criação do mapa de demandas, uma representação visual que reflete a distribuição das necessidades de coleta em determinada área.

Figura 23 - Representação do fluxo de informações



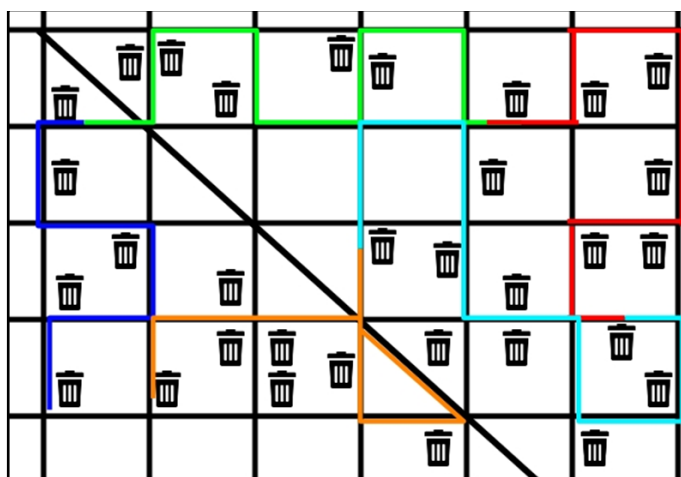
Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.6 Método mapeamento de demanda

A Figura 24 ilustra um segmento de viagem de um caminhão compactador durante a coleta de resíduos. Cada vez que a cor da linha de rota muda, representa um momento em que a chapa compactadora realizou um movimento significativo. Durante o trecho entre duas movimentações da chapa, a quantidade de resíduos coletados é atribuída igualmente aos pontos de coleta ao longo desse trecho.

Considere o trecho representado pela cor verde. Este trecho engloba cinco pontos de coleta. Suponhamos que, após percorrê-lo, a chapa compactadora tenha se deslocado 30 cm, enquanto sua distância máxima é de 300 cm. Adicionalmente, no final da coleta, ao pesar o caminhão, é mensurado um peso de 10 toneladas de resíduos. O deslocamento da chapa em 30 cm corresponde a 10% da capacidade de armazenamento do caminhão. Portanto, podemos concluir que o caminhão ficou 10% mais cheio após percorrer o trecho verde, resultando na coleta de 1 tonelada de resíduos nesse percurso. Distribuindo igualmente esse valor de 1 tonelada pelos cinco pontos de coleta, atribuímos 200 kg a cada ponto de coleta no decorrer desse dia.

Figura 24 - Rota separada por movimentações da chapa

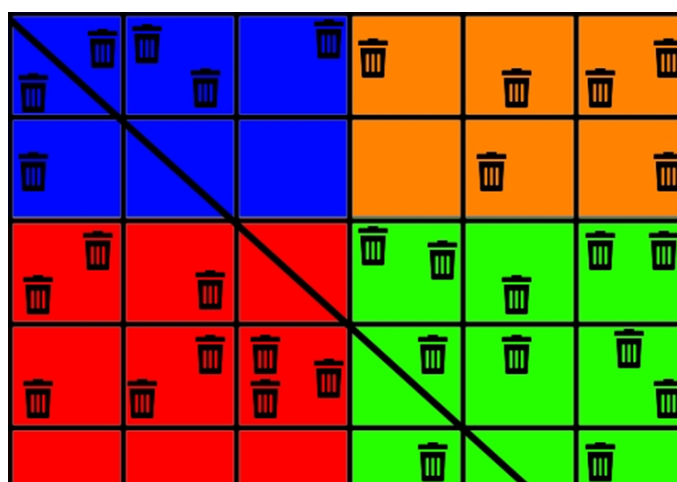


Fonte: Autoria Própria (2023)

É fundamental observar que essa coleta e medição ocorrem ao longo de vários dias. A cada dia, a chapa compactadora se movimenta em locais diferentes, o que aprimora a precisão da estimativa média de resíduos por ponto de coleta. Após a atribuição de pesos a todos os pontos de coleta, a imprecisão se dilui ainda mais, quando os pontos são agrupados em microrregiões. Cada microrregião é uma divisão do mapa em fragmentos de área menores, como ilustrado na Figura 25.

Os valores obtidos para as microrregiões serão utilizados em uma futura otimização da rota, assegurando uma precisão satisfatória. Vale destacar que as Figuras 24 e 25 contêm detalhes exagerados e desproporcionais em relação à realidade. Essa representação gráfica serve para fins explicativos, pois as áreas das microrregiões e o intervalo entre movimentações da chapa compactadora na realidade são muito maiores. Essa simplificação gráfica foi adotada para facilitar a compreensão e visualização dos elementos.

Figura 25 - Exemplo de divisão em fragmentos de área



Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.7 Planos do processo

A segunda Casa da Qualidade, resultado do desdobramento da Função Qualidade, integra os outputs da primeira Casa da Qualidade, onde os requisitos do produto foram detalhadamente mapeados com seus respectivos níveis de importância. Na escolha do método de distribuição de demandas, optou-se pelo método número 1, que consiste em atribuir os pontos a um fragmento de área específico. Esta escolha, respaldada pela análise cuidadosa dos requisitos do cliente e pela sinergia com os objetivos gerais do projeto, demonstra um alinhamento estratégico para atender às expectativas de maneira eficaz.

Os componentes principais foram cuidadosamente escolhidos, com o Arduino desempenhando o papel de microcontrolador, o sensor ultrassônico como a peça fundamental para medir distâncias e o módulo Bluetooth para efetuar a transmissão eficiente de dados do dispositivo. Considerando uma abordagem financeira sensata, cada componente foi orçado em aproximadamente 20 reais, totalizando 60 reais.

Esta alocação de recursos foi estrategicamente planejada, deixando uma margem de 40 reais para contingências e outros custos imprevistos.

Em relação à interface do dispositivo, uma abordagem minimalista foi adotada, selecionando apenas um botão para iniciar a coleta e uma caixa de texto para a exibição dos dados. Essa simplificação visa tornar a interface do aplicativo altamente intuitiva, garantindo usabilidade efetiva para uma ampla gama de usuários. A figura 26 detalha o resultado da elaboração da segunda casa da qualidade do QFD.

Figura 26 - Segunda casa da qualidade

Planos do processo Requisitos do Produto	Importância	Método 1	Arduino	Sensor Ultrassônico	Módulo Bluetooth	Botão Iniciar	Dados coletados
		Erro médio	9	3	0	1	0
Preço dos Componentes	9	0	3	3	3	0	0
Número de Componentes	16	0	3	1	1	0	0
Nº Etapas de montagem	6	0	3	1	1	0	0
Nº de Elementos da Interface	3	1	0	0	0	3	3
Especificações-Meta	$E = \frac{s}{2 * \sqrt{n}}$	R\$ 20,00	R\$ 20,00	R\$ 20,00	Visível	Visível	
Importância Absoluta	28	93	58	49	9	9	
Complexidade	3	1	1	1	1	1	

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.8 Interface do aplicativo

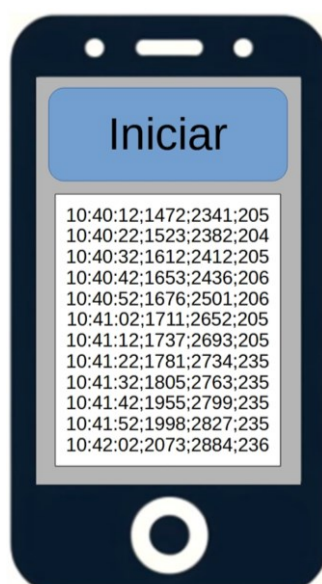
A figura 27 mostra um possível modelo para a interface do aplicativo. A interface do dispositivo é composta por apenas dois elementos - um botão para iniciar a coleta dos dados e uma caixa de texto para que os dados sejam registrados. Esses elementos ocupam toda a tela do dispositivo e são de fácil visualização e interação, tornando a interface intuitiva e acessível para pessoas de todas as idades e níveis de familiaridade com a tecnologia.

A ideia é que o motorista possa iniciar o aplicativo ao início da operação de coleta de resíduos e encerrar o aplicativo ao finalizar a operação. Durante esse

período, o aplicativo irá receber informações de distância de um módulo do dispositivo, que está conectado a um sensor de ultrassom instalado no veículo. Além disso, o aplicativo irá obter a hora atual e as coordenadas de latitude e longitude do GPS do celular.

Todas essas informações serão organizadas em uma sequência de linhas no formato “hora;latitude;longitude;distância” e serão registradas na caixa de texto da interface. No final da operação, o motorista poderá copiar os dados para a área de transferência do celular e enviá-los para o responsável pela coleta de dados através da internet, por ferramentas como e-mail ou WhatsApp, por exemplo.

Figura 27 - Modelo da interface do aplicativo



Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.9 Componentes do dispositivo

Para o desenvolvimento do dispositivo, foram selecionados os principais componentes. Esses componentes foram selecionados com base em sua funcionalidade, disponibilidade no mercado e custo-benefício, visando atender aos requisitos do projeto de forma eficiente e confiável.

Para a prototipagem e montagem final do dispositivo, é necessário um Arduino, uma plataforma de dispositivos eletrônicos de baixo custo e fácil utilização. O dispositivo também contará com um sensor ultrassônico e um módulo Bluetooth, ambos compatíveis com o Arduino. O sensor ultrassônico usa ondas sonoras de alta frequência para medir com precisão satisfatória a distância entre ele e a chapa

compactadora, detectando as variações de volume dos resíduos durante a compactação. O módulo Bluetooth permite a comunicação sem fio entre o dispositivo e o smartphone.

Uma caixa plástica servirá como estrutura para abrigar o circuito eletrônico e os componentes do dispositivo, fornecendo proteção e organização adequadas. A caixa plástica é escolhida para garantir resistência, durabilidade e facilidade de instalação no caminhão compactador. O dispositivo conta com uma bateria de 9 volts e um adaptador como fonte de energia. O adaptador é ligado ao Arduino, que alimenta os outros componentes do circuito, proporcionando mais praticidade na instalação. Três resistores de 330Ω , $1k\Omega$ e $2,2k\Omega$ serão necessários para regular a tensão e corrente no sistema. O quadro 3 lista os componentes do produto com suas principais características.

Quadro 3 - Componentes do dispositivo

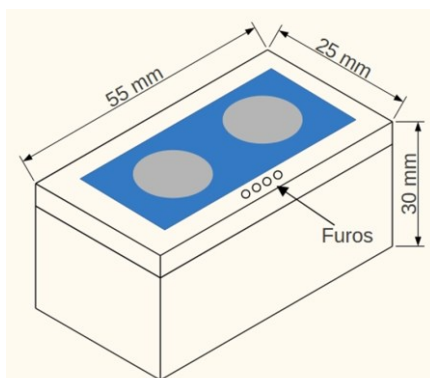
Componentes	Características
Arduíno	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo • Fácil utilização
Sensor Ultrassônico	<ul style="list-style-type: none"> • Mede a distância • Precisão razoável • Baixo custo • Compatível com Arduíno
Módulo Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> • Permite comunicação sem fio • Baixo custo • Compatível com Arduíno
Caixa plástica	<ul style="list-style-type: none"> • Protege e organiza o dispositivo • Facilidade de instalação • Baixo custo
Bateria 9V e adaptador	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo • Praticidade
Resistores	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo • Alta disponibilidade • Protegem o circuito

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.10 Arquitetura do produto

A figura 28 mostra um esboço do dispositivo com as suas respectivas dimensões. O tamanho da caixa não interfere no desempenho do dispositivo, sendo apenas uma sugestão para acomodar as peças internas. O sensor ultrassônico é fixado na parte superior da caixa, e os fios que o conectam ao Arduino passam por furos logo abaixo dele. Os pinos do sensor devem ser dobrados para dentro da caixa, para evitar que se soltem ou se danifiquem.

Figura 28 - Dimensões da caixa plástica



Fonte: Autoria Própria (2023)

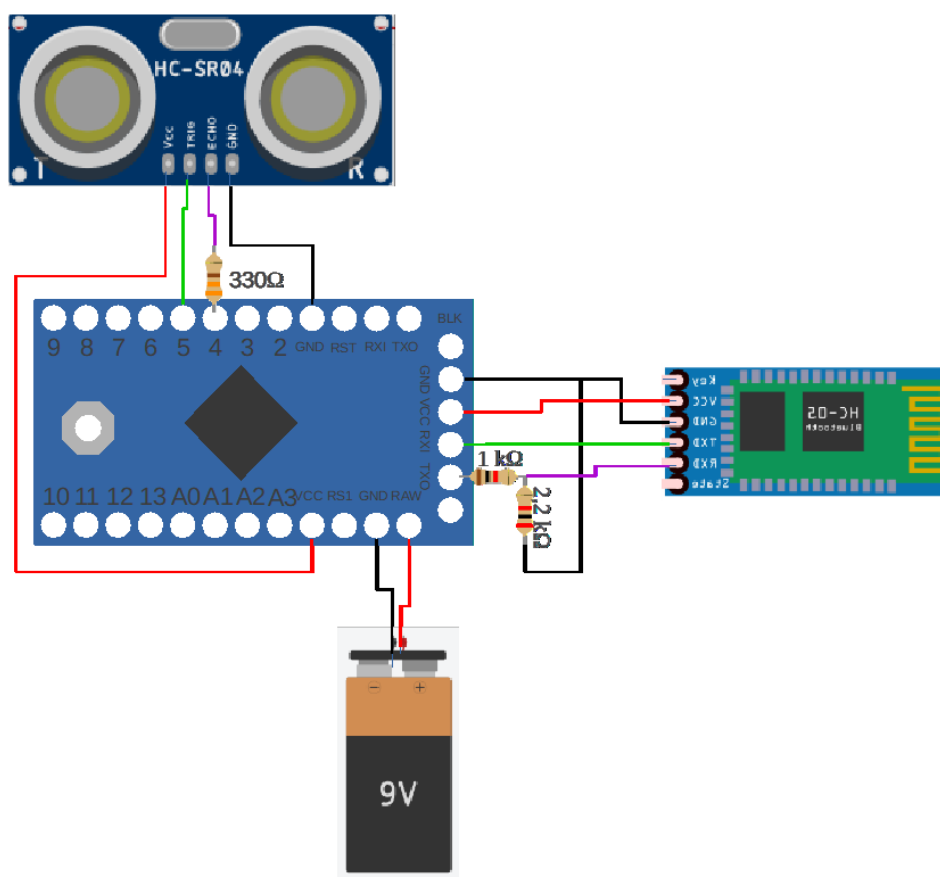
Para realizar o projeto, foram utilizados um sensor HC-SR04, um módulo bluetooth HC-05, um Arduino pró mini e uma bateria de 9V. O sensor HC-SR04 foi conectado ao Arduino pró mini pelos pinos VCC, TRIG, ECHO e GND. O pino VCC do sensor foi ligado à entrada VCC do Arduino, que fornece a tensão de alimentação de 5V. O pino TRIG do sensor foi ligado à porta digital 5 do Arduino, que envia o sinal de disparo do pulso ultrassônico. O pino ECHO do sensor foi ligado à porta digital 4 do Arduino, que recebe o sinal de retorno do pulso ultrassônico. Para evitar danos ao sensor, foi utilizado um resistor de 330 ohm entre o pino ECHO e a porta 4 do Arduino, reduzindo a corrente elétrica. O pino GND do sensor foi ligado a um dos terminais GND do Arduino, que serve como referência de terra.

O módulo bluetooth HC-05 foi conectado ao Arduino pró mini pelos pinos VCC, GND, TXD e RXD. O pino VCC do módulo foi ligado à entrada VCC do Arduino, que fornece a tensão de alimentação de 5V. O pino GND do módulo foi ligado a um dos terminais GND do Arduino, que serve como referência de terra. O pino TXD do módulo foi ligado à entrada RXI do Arduino, que recebe os dados enviados pelo módulo. O pino RXD do módulo foi ligado à entrada TXO do Arduino,

que envia os dados para o módulo. Como o módulo bluetooth opera com uma tensão de 3,3V, foi necessário utilizar um divisor de tensão entre o pino RXD do módulo e a entrada TXO do Arduino, para evitar danos ao módulo. O divisor de tensão foi montado com um resistor de 1kohm e outro de 2,2kohm, que reduzem a tensão de 5V para 3,3V. A bateria de 9V foi utilizada para alimentar o Arduino pró mini, que possui um regulador de tensão interno.

O polo negativo da bateria foi ligado a um dos terminais GND do Arduino, que serve como referência de terra. O polo positivo da bateria foi ligado à entrada RAW do Arduino, que aceita tensões entre 3,35V e 12V. Dessa forma, as ligações no Arduino foram feitas da forma adequada para o funcionamento do projeto. A figura 29 detalha o circuito do dispositivo.

Figura 29 - Circuito do dispositivo



Fonte: Autoria Própria (2023)

A figura 30 mostra o pseudocódigo da programação realizada no Arduino. Esse algoritmo usa um sensor ultrassônico para medir a distância de um objeto e enviar essa informação via Bluetooth para um dispositivo externo. Primeiro, ele

define uma função que recebe dois números como parâmetros, que representam os pinos do Arduino que estão conectados ao sensor. Essa função configura o pino que envia um sinal sonoro como saída e o pino que recebe o eco como entrada. Em seguida, ela envia um pulso sonoro de curta duração e mede o tempo que leva para o eco voltar. Esse tempo é proporcional à distância do objeto. A função retorna esse tempo como resultado.

Após ter recebido as informações de distância coletadas pelo sensor, o algoritmo inicia a comunicação serial com o computador e com o módulo Bluetooth, usando uma velocidade de 9600 bits por segundo. Então, ele entra em um loop infinito, onde ele chama a função definida anteriormente, passando os números 5 e 4 como parâmetros, que são os pinos usados pelo sensor. Ele multiplica o resultado da função por um fator de conversão para obter a distância em centímetros. Ele envia a distância em centímetros via Bluetooth para um dispositivo externo, usando uma mensagem formatada. Ele espera por 10 segundos antes de repetir o processo.

Figura 30 - Pseudocódigo do Arduino

```

1 // Defina uma função para ler a distância ultrassônica usando um sensor
2 função lerDistanciaUltrassonica(pinoGatilho, pinoEco)
3   configure o pinoGatilho como saída
4   coloque o pinoGatilho em nível baixo
5   espere 2 microssegundos
6   coloque o pinoGatilho em nível alto
7   espere 10 microssegundos
8   coloque o pinoGatilho em nível baixo
9   configure o pinoEco como entrada
10  retorne o tempo que o sinal do pinoEco fica em nível alto
11
12 // Inicie a comunicação serial com o computador e com o módulo Bluetooth
13 inicie a comunicação serial com o computador na velocidade de 9600 bps
14 inicie a comunicação serial com o módulo Bluetooth na velocidade de 9600 bps
15
16 // Repita indefinidamente
17 enquanto verdadeiro
18   // Calcule a distância em centímetros e polegadas usando a função definida anteriormente
19   cm = 0.01723 * lerDistanciaUltrassonica(5, 4)
20
21   // Envie a distância em centímetros via Bluetooth para um dispositivo externo
22   envie "Distancia em cm: " via Bluetooth
23   envie cm via Bluetooth
24
25   // Aguarde por um curto período antes de realizar a próxima leitura
26   espere 10000 milissegundos

```

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para a criação da interface gráfica do aplicativo, é definida uma função chamada criarInterface(), na qual primeiro, são criados e adicionados os elementos da interface, que consistem em um botão com o texto “Iniciar” e uma caixa de texto. O botão ocupa 100% da largura e 20% da altura da tela, enquanto a caixa de texto ocupa 100% da largura e 80% da altura da tela. Esses elementos são criados

usando as funções `criarBotao()` e `criarCaixaDeTexto()`, respectivamente, e são adicionados à interface usando a função `adicionarElementos()`.

Após criar os elementos, é adicionado um evento de clique ao botão, que chama a função `iniciarAplicativo()`, que é responsável por iniciar a coleta de informações de distância do módulo bluetooth do Arduino. Para isso, é usada a função `adicionarEvento()`, passando como parâmetros o nome do evento (“clique”) e a função a ser chamada (`iniciarAplicativo()`). A Figura 31 mostra o pseudocódigo da interface do aplicativo.

Figura 31 - Pseudocódigo da criação dos elementos da interface

```

1 // Criar uma interface gráfica com um botão e uma caixa de texto
2 criarInterface()
3 {
4     // Criar e adicionar os elementos da interface
5     botao = criarBotao(texto="Iniciar", largura=100%, altura=20%)
6     caixa = criarCaixaDeTexto(largura=100%,altura=80%)
7     adicionarElementos(botao,caixa)
8     // Adicionar um evento de clique ao botão iniciar
9     botao.adicionarEvento(no_evento="clique", iniciar_coleta())
10 }
```

Fonte: Autoria Própria (2023)

A função `iniciar_coleta()` tem o objetivo de iniciar o aplicativo que recebe informações de distância do dispositivo. Para isso, ela primeiro se conecta ao módulo bluetooth usando a função `conectarBluetooth()`, que recebe como parâmetro o nome do dispositivo (“Arduino”), e cria uma variável chamada `bluetooth` que representa a conexão com o módulo. Segundo, ela verifica se a conexão foi bem sucedida usando uma estrutura condicional, que verifica se a variável `bluetooth` tem o valor “conectado”, que indica que a conexão foi estabelecida com sucesso.

Terceiro, se a conexão foi bem sucedida, ela cria uma função chamada `lerDistancia()`, que lê a distância em centímetros do módulo bluetooth usando a função `bluetooth.leitura()`, obtém a hora atual no formato hh -mm -ss usando a função `obterHoraAtual()`, obtém as coordenadas de latitude e longitude do GPS do celular usando as funções `obterLatitudeGPS()` e `obterLongitudeGPS()`, formata as informações no formato hh -mm -ss;latitude;longitude;distancia usando a função `concatenar()`, e registra a informação na caixa de texto usando a função `caixa.registrar()`.

Por fim, ela chama a função `lerDistancia()` a cada 10 segundos usando a função `repetir()`, que recebe como parâmetros a função a ser chamada e o intervalo de tempo em milissegundos. Se a conexão não foi bem sucedida, ela mostra uma

mensagem de erro na caixa de texto usando a função `caixa.registrar()`. A figura 32 mostra o pseudocódigo da função `iniciar_coleta()`.

Figura 32 - Pseudocódigo da função que inicia a coleta

```

12 iniciar_coleta()
13 { // Conectar-se ao módulo bluetooth do arduino
14   bluetooth = conectarBluetooth("arduino")
15   // Verificar se a conexão foi bem sucedida
16   se (bluetooth=conectado)
17   {
18     // Criar uma função que lê as informações e registra na caixa de texto
19     lerDistancia()
20     {
21       // Ler a distância em centímetros do módulo bluetooth
22       distancia = bluetooth.leitura()
23       hora = obterHoraAtual(hh:mm:ss)
24       latitude = obterLatitudeGPS()
25       longitude = obterLongitudeGPS()
26       nova_linha = concatenar(hora,";",latitude,";",longitude,";",distancia)
27       // Registrar a informação na caixa de texto
28       caixa.registrar(nova_linha)
29     }
30     // Chamar a função lerDistancia a cada 10 segundos
31     repetir(lerDistancia, intervalo=10000)
32   }
33   senao
34   { // Mostrar uma mensagem de erro na caixa de texto
35     caixa.registrar("Erro ao conectar-se ao módulo bluetooth")}

```

Fonte: Autoria Própria (2023)

O software, desenvolvido em Python, inicia sua operação ao abrir uma caixa de diálogo para a seleção de um documento CSV contendo dados brutos do dispositivo, incluindo o peso total coletado na primeira linha e informações subsequentes no formato hora;latitude;longitude;distância. A leitura de cada linha identifica a maior e menor distância, considerando-as como 0% e 100% de deslocamento, respectivamente.

O código, então, processa as linhas, filtrando aquelas com variação de distância superior a 2% em relação à linha anterior, descartando variações menores que podem ser influenciadas por fatores externos, como a trepidação do caminhão.

Posteriormente, o software solicita um arquivo CSV que fornece informações sobre os pontos de coleta (latitude;longitude;fragmento de área). Utilizando essas coordenadas, o código determina quais pontos estão associados às variações de distância, utilizando o cálculo da menor distância euclidiana entre o ponto de variação e o ponto de coleta mais próximo como critério.

A atribuição de demandas entre os pontos ocorre com base no peso associado ao deslocamento da chapa. Por exemplo, se a chapa se move 10% e o peso total é de 10 toneladas, considera-se um acréscimo de uma tonelada ao

caminhão. Esse peso é distribuído igualmente entre os pontos no intervalo entre duas movimentações, garantindo uma distribuição proporcional.

Os pesos calculados para cada ponto são então somados por fragmento de área, agrupando os pontos com base nessa categorização espacial. O resultado final do software consiste nos pesos calculados para cada fragmento de área, fornecendo uma visão detalhada da distribuição da demanda ao longo da rota de coleta. A Figura 33 mostra um pseudocódigo como representação simplificada do fluxo de operação descrito.

Figura 33 - Pseudocódigo do software

```

2 1. Abrir caixa de diálogo para selecionar o arquivo CSV com dados brutos do dispositivo.
3 2. Ler o arquivo CSV e identificar a maior e menor distância para normalização.
4 3. Inicializar uma lista vazia para armazenar variações significativas de distância.
5
6 Para cada linha no arquivo CSV:
7   4. Calcular a variação de distância em relação à linha anterior.
8   5. Se a variação for maior que 2%, adicionar a linha à lista de variações significativas.
9
10 6. Abrir nova caixa de diálogo para selecionar o arquivo CSV com informações sobre pontos de coleta
11 7. Ler o arquivo CSV e armazenar as coordenadas dos pontos de coleta.
12
13 Para cada variação de distância significativa:
14   8. Encontrar o ponto de coleta mais próximo usando a menor distância euclidiana.
15   9. Atribuir demanda ao ponto de coleta com base no peso associado ao deslocamento da chapa.
16
17 10. Inicializar um dicionário para armazenar os pesos calculados por quadrante.
18
19 Para cada ponto de coleta:
20   11. Determinar o quadrante do ponto.
21   12. Adicionar o peso calculado ao quadrante correspondente no dicionário.
22
23 13. Abrir caixa de diálogo para salvar um arquivo CSV com os pesos calculados por quadrante
24

```

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.2.11 Plano macro do processo

A equipe de produção e suporte técnico é responsável por supervisionar todo o processo de produção, desde a seleção dos componentes até a montagem final do produto. Os componentes necessários incluem um Arduino, um módulo Bluetooth, um sensor ultrassônico, uma caixa plástica, uma bateria de 9 volts e um adaptador de bateria. O Quadro 4 organiza os principais detalhes do processo de manufatura do dispositivo.

Os processos de manufatura incluem a soldagem de circuitos eletrônicos, a furação e a montagem das peças. A soldagem é o processo pelo qual os componentes eletrônicos são unidos à placa de circuito impresso usando fio de liga de estanho e um ferro de solda. A furação é o processo pelo qual os orifícios são feitos na caixa para permitir que os componentes sejam montados. A montagem é o processo pelo qual as peças são unidas para formar o produto final.

As ferramentas e consumíveis necessários para a produção incluem uma furadeira, uma broca, um ferro de solda, fio de liga de estanho, fita dupla face e fios de cobre. A furadeira e a broca são usadas para fazer orifícios na caixa plástica. O ferro de solda é usado para soldar os componentes eletrônicos à placa, enquanto o fio de liga de estanho é usado como material de solda. A fita dupla face é usada para fixar o dispositivo ao caminhão, os fios de cobre são usados para conectar os componentes entre si.

Quadro 4 - Plano macro do processo

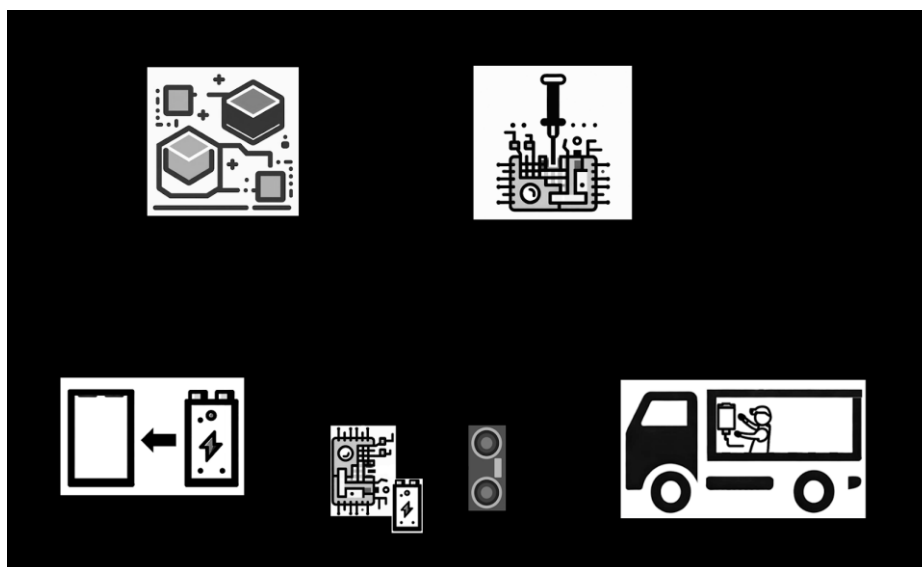
Mão de obra	<ul style="list-style-type: none"> • Equipe de produção e suporte técnico
Componentes	<ul style="list-style-type: none"> • Arduino • Módulo Bluetooth • Sensor Ultrassônico • Caixa plástica • Bateria 9 Volts • Adaptador de Bateria
Processos de manufatura	<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem de circuitos eletrônicos • Furação • Montagem
Ferramentas e consumíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Furadeira • Broca • Ferro de solda • Fitas dupla face e isolante • Fita dupla face • Fios de cobre

Fonte: Autoria Própria (2023)

O processo de montagem inicia-se com a separação dos componentes necessários para a construção do dispositivo. Em seguida, são realizadas as soldagens do módulo Bluetooth e do sensor ultrassônico no Arduino. Após a etapa de soldagem, é realizada a inserção da bateria 9 volts no adaptador apropriado e o conjunto é ligado ao Arduino.

Todos os componentes são colocados dentro de uma caixa plástica, com exceção do sensor ultrassônico que será colado na tampa da caixa. Por fim, a caixa é vedada e o dispositivo é instalado no caminhão com fita dupla face. A Figura 34 resume em forma de diagrama o processo de manufatura do dispositivo.

Figura 34 - Resumo do processo de manufatura



Fonte: Autoria Própria (2023)

7.3 Projeto detalhado

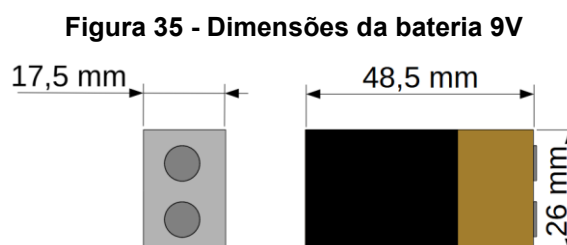
7.3.1 Detalhamento dos componentes

No desenvolvimento e fabricação do produto proposto, foram selecionados cuidadosamente componentes com base em seus custos acessíveis e funcionalidades satisfatórias. As especificações técnicas dos principais componentes utilizados são descritas a seguir.

A escolha dos componentes mencionados visa atender aos requisitos de baixo custo e funcionalidade satisfatória para o desenvolvimento do produto proposto. É importante ressaltar que esses componentes sugeridos podem ser substituídos por outros, de acordo com as preferências e necessidades da empresa. No entanto, é fundamental realizar pesquisas adequadas sobre os componentes alternativos, considerando suas especificações técnicas, compatibilidade e custo, a fim de garantir uma substituição adequada e eficiente.

Para alimentar o dispositivo proposto, será utilizada uma bateria de 9 volts e um adaptador para bateria 9 volts, que custa R\$9,69 na loja Amazon. Essa bateria é uma fonte portátil de energia que fornece uma tensão nominal de 9 volts. Ela é comumente usada em dispositivos eletrônicos de baixo consumo, como projetos baseados em Arduino. Essas baterias são compactas e fáceis de serem encontradas no mercado. Elas são frequentemente utilizadas em projetos

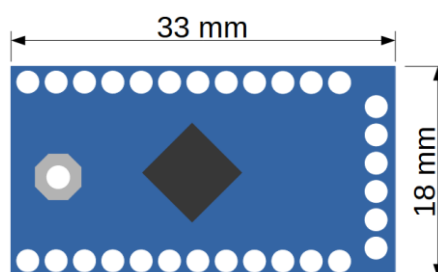
eletrônicos devido à sua praticidade e disponibilidade. A figura 35 mostra as dimensões da bateria 9V.



Fonte: Autoria Própria (2023)

O Arduino Pro Mini é uma placa microcontroladora que custa R\$8,73 na loja AliExpress. Ela é baseada no chip ATmega328P, que oferece amplas capacidades de programação e controle. Possui 14 pinos digitais de entrada/saída, 8 pinos analógicos de entrada, uma frequência de clock de 16 MHz, memória flash de 32 KB, consome cerca de 40mA. É uma opção compacta e econômica para projetos que requerem um microcontrolador versátil e de baixo consumo de energia. A figura 36 mostra as dimensões do Arduino Pró Mini.

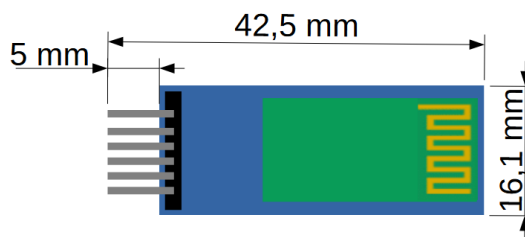
Figura 36 - Dimensões do Arduino Pró Mini



Fonte: Autoria Própria (2023)

O módulo Bluetooth HC-05 é um dispositivo que permite a comunicação sem fio entre o Arduino e outros dispositivos, como smartphones e tablets. Possui um alcance de comunicação de aproximadamente 10 metros e utiliza o protocolo Bluetooth 2.0. Ele custa R\$12,73 na loja AliExpress. É amplamente utilizado devido à sua fácil integração e configuração, além de oferecer uma interface serial para a comunicação com o Arduino. A Figura 37 Mostra as dimensões do módulo HC-05.

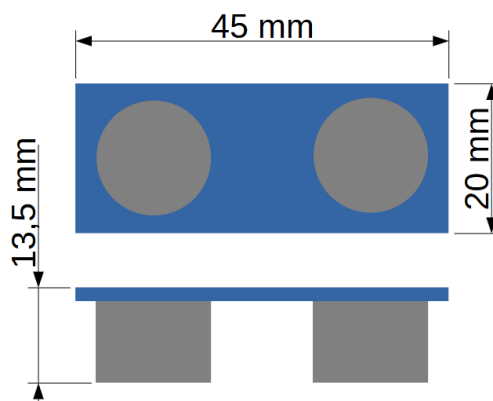
Figura 37 - Dimensões do módulo Bluetooth HC-05



Fonte: Autoria Própria (2023)

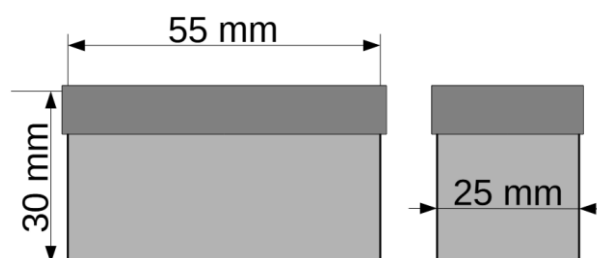
O sensor ultrassônico de distância HC-SR04 é um dispositivo capaz de medir a distância entre o sensor e um objeto usando ondas ultrassônicas. Possui um alcance operacional de aproximadamente 2 cm a 4 metros e uma precisão de medição de cerca de 3 mm. Ele custa R\$17,00 na loja Mercado Livre e é amplamente utilizado em projetos que requerem detecção de proximidade e medição de distâncias com precisão. A Figura 38 mostra as dimensões do sensor HC-SR04.

Figura 38 - Dimensões do sensor HC-SR04



Fonte: Autoria Própria (2023)

O dispositivo é composto por vários componentes que são acondicionados em uma caixa com dimensões internas mínimas de 50 mm x 25 mm x 25 mm (largura x altura x profundidade). A caixa possui uma tampa simples que permite o acesso aos componentes internos. Não existe um material obrigatório para a confecção da caixa, mas o plástico é recomendado por apresentar diversas vantagens, como baixo custo, fácil moldagem, resistência e leveza. A Figura 39 mostra as dimensões da caixa plástica.

Figura 39 - Dimensões da caixa plástica

Fonte: Autoria Própria (2023)

O Figura 40 apresenta uma planilha de custos dos componentes dos dispositivos utilizados no projeto. Os componentes são - Arduino Pró Mini, Sensor HC-SR04, Módulo Bluetooth HC-05, Bateria 9 V e Outros Materiais. Os Outros Materiais incluem os resistores, liga metálica para solda, fita dupla face, fita isolante e caixa plástica que são utilizados para montar o circuito e a estrutura do dispositivo. A planilha mostra o preço unitário e a quantidade de cada componente, bem como o custo total de cada item e do dispositivo.

Figura 40 - Planilha de custos dos componentes

Produto	Preço	Frete	Total
Arduino Pró Mini	R\$ 8,73	R\$ -	R\$ 8,73
Sensor HC-SR04	R\$ 17,00	R\$ 15,00	R\$ 32,00
Módulo Bluetooth HC-05	R\$ 12,73	R\$ 18,00	R\$ 30,73
Bateria 9 V	R\$ 9,69	R\$ 12,00	R\$ 21,69
Outros Materiais	R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 30,00
Total	R\$		123,15

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.3.2 Recursos de fabricação

Para a correta fabricação e instalação do dispositivo, são necessários diversos recursos essenciais. É importante ressaltar que a seleção e a aquisição adequada desses recursos são fundamentais para garantir a qualidade e a eficiência do processo de fabricação e instalação do dispositivo. Foi necessário adotar critérios de escolha baseados em requisitos técnicos, como a compatibilidade com o projeto, a durabilidade, a precisão e a confiabilidade dos recursos selecionados. Por meio da utilização desses recursos e ferramentas apropriadas, será possível realizar de forma efetiva a fabricação e instalação do dispositivo.

Uma furadeira deve ser utilizada para realizar os furos necessários na estrutura do caminhão compactador, permitindo a correta instalação do dispositivo.

Recomenda-se o uso de uma furadeira adequada, capaz de perfurar o material do veículo com precisão e segurança.

O ferro de solda é uma ferramenta imprescindível para a soldagem dos componentes eletrônicos do dispositivo. Com o ferro de solda, é possível realizar conexões elétricas seguras e confiáveis entre os componentes, assegurando o funcionamento correto do dispositivo.

Fitas dupla face e isolante são essenciais para o isolamento elétrico, vedação e fixação sólida e confiável do dispositivo no caminhão compactador. A fita dupla face deve possuir características de adesão e resistência adequadas para suportar as condições operacionais do veículo, garantindo a estabilidade e durabilidade do dispositivo. Uma fita isolante será responsável pela vedação da caixa e isolamento elétrico dos componentes eletrônicos do dispositivo. Ela é ideal para essa tarefa, pois é de fácil manuseio e sua resistividade será suficiente para esse tipo de aplicação.

Um computador será necessário para realizar a programação do Arduino, responsável pelo processamento e controle do dispositivo de medição de resíduo. Recomenda-se um computador com recursos suficientes para suportar o ambiente de desenvolvimento e a interface com o Arduino, possibilitando a criação e o carregamento dos programas necessários. A Figura 41 apresenta a planilha de funções dos recursos de fabricação.

Figura 41 - Planilha de funções dos recursos de fabricação

Funções dos recursos de fabricação	
Furadeira	Furo da caixa
Ferro de solda	Soldagem dos componentes
Fita dupla face	Fixação do dispositivo ao caminhão
Fita isolante	Isolamento elétrico dos dispositivos e vedação da caixa
Computador	Upload do código ao arduino

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.3.3 Montagem

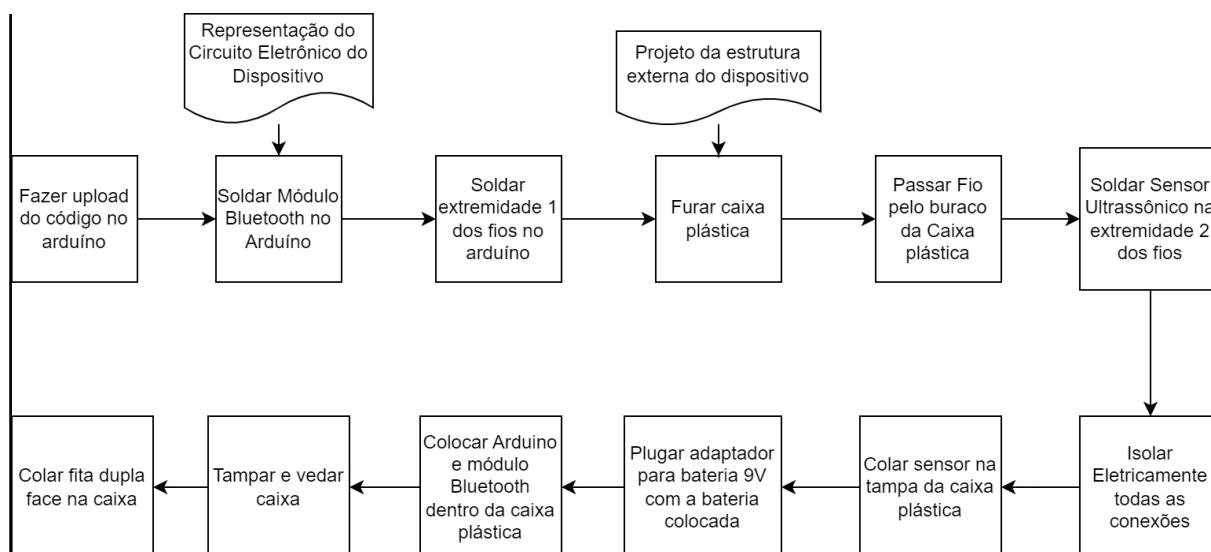
O processo de montagem do dispositivo envolve várias etapas. Inicialmente, é necessário fazer o upload do código ao Arduino para programar o dispositivo. Em seguida, o módulo Bluetooth é soldado ao Arduino, com a representação do circuito eletrônico do dispositivo como entrada.

Posteriormente, são realizadas operações de soldagem, onde as extremidades dos fios são conectadas ao Arduino, e um sensor ultrassônico é soldado em uma das extremidades do fio. Todas as conexões elétricas são isoladas para garantir o funcionamento correto.

A estrutura física do dispositivo também é preparada. Uma caixa plástica é furada de acordo com o projeto de estrutura do dispositivo, permitindo que o fio passe por um buraco na caixa. O sensor ultrassônico é colado na tampa da caixa com a fita dupla face, e um adaptador para a bateria de 9V é plugado, com a bateria colocada.

O Arduino e o módulo Bluetooth são colocados dentro da caixa plástica, que é então vedada e isolada com fita isolante. Além disso, fita dupla face é colada na caixa para facilitar a fixação do dispositivo ao caminhão. Esse processo completo resulta na montagem do dispositivo pronto para medir a demanda da coleta. O Fluxograma 1 detalha os processo de montagem do dispositivo.

Fluxograma 1 - Processo de montagem do dispositivo



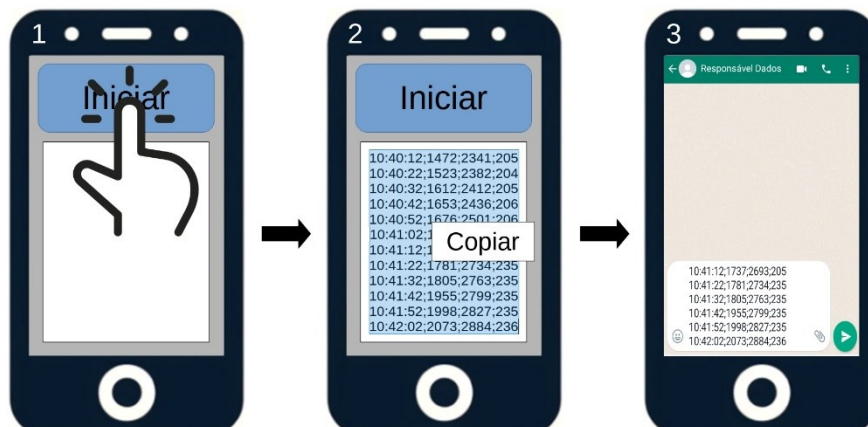
Fonte: Autoria Própria (2023)

7.3.4 Manuais do produto

Manuais foram criados para auxiliar na utilização do produto. A Figura 42 mostra o manual do motorista.

Figura 42 - Manual do motorista**MANUAL DO MOTORISTA**

- 1 - Abra o aplicativo e toque no botão "Iniciar".
- 2 - Após o fim da coleta, selecione todos os dados contidos na caixa de texto, pressione por um tempo até que apareça a opção "Copiar" e clique nessa opção.
- 3 - Envie os dados da área de transferência para a o responsável pelos dados através de aplicativos de mensagens instantâneas ou e-mail.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para a correta montagem, são necessárias algumas informações adicionais além dos fluxogramas de montagem e os circuitos do dispositivo. A Figura 43 apresenta o manual de montagem

Figura 43 - Manual de montagem**MANUAL DE MONTAGEM**

- 1 - Conecte o Arduino Pro Mini ao adaptador FTDI usando um cabo de 6 pinos.
- 2 - Conecte o adaptador FTDI ao computador via USB.
- 3 – Baixe o Arduino IDE no Qr Code:



- 4 - Abra o Arduino IDE.
- 5 - Selecione a opção "Arduino Pro or Pro Mini" em "Tools" > "Board".
- 6 - Escolha o processador correto em "Processor".
- 7 - Selecione a porta COM correta em "Port".
- 8 – Baixe o código do arduino no QR Code:



- 9 - Abra o código no Arduino IDE e clique em "Upload"
- 10 - Após a mensagem de upload bem sucedido, desconecte o adaptador
- 11 – Monte o circuito e aloque os componentes dentro da caixa de acordo com a seção 7.2.10
- 12 – Siga as instruções de montagem da seção 7.3.3

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para a realização do download do aplicativo e pareamento do dispositivo, é necessário o manual do aplicativo mostrado na Figura 44. Para o download e correta utilização do software, é necessário o manual do software apresentado na figura 45.

Figura 44 - Manual do aplicativo

MANUAL DO APLICATIVO

- 1 - Utilize um Celular com sistema operacional Android 12 ou anterior
- 2 - Ative o Bluetooth no Celular.
- 3 - Ligue o Dispositivo.
- 4 - Encontre Dispositivos Bluetooth Disponíveis.
- 5 - Selecione o dispositivo na lista para iniciar o processo de pareamento.
- 6 - Insira a senha e confirme o pareamento
- 7 - Aguarde até que o pareamento seja estabelecido com sucesso.
- 8 - Baixe o aplicativo no QR Code:



- 9 - Abra o Aplicativo.

Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 45 - Manual do software

MANUAL DO SOFTWARE

- 1 - Baixe o interpretador Python no QR Code:



- 2 - Baixe o código do Software no QR Code:



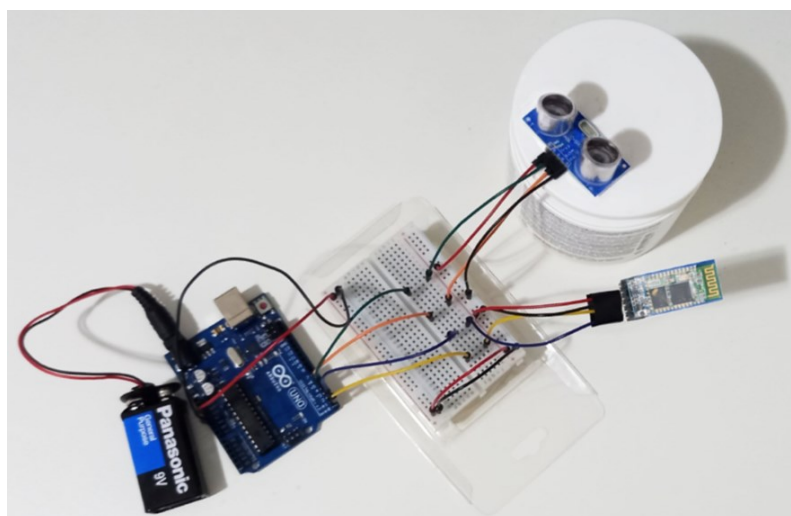
- 3 - Abra e execute o código no interpretador Python.
- 4 - Ao abrir a caixa de diálogo, selecione o arquivo CSV com os dados do dia.
- 5 - Em seguida, uma nova caixa de diálogo será aberta. Selecione o arquivo CSV que contem as posições dos pontos de coleta e seus respectivos quadrantes.
- 6 - Um arquivo "Demandas.csv" com as informações de demanda por quadrante será gerado.

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.3.5 Prototipagem e simulação do produto

A figura 42 apresenta o protótipo montado para testar o código elaborado para o funcionamento do dispositivo. Para a construção do protótipo, foi adotado o Arduino Uno, uma escolha justificada pela sua adequação superior para atividades de prototipagem em comparação com o Arduino Pro Mini. O circuito foi montado de acordo com o esquema representado na Figura 29U, com a ressalva de que, devido à presença de uma saída de 3,3 volts no Arduino Uno, não houve necessidade de incorporar resistores ao circuito, diferindo da configuração adotada com o Arduino Pro Mini. A bateria de 9 volts foi conectada diretamente à entrada específica do Arduino Uno, dispensando a soldagem presente no Arduino Pro Mini. O dispositivo demonstrou operação adequada, apresentando a compatibilidade esperada com o aplicativo. Este último recebeu de forma precisa as informações de distância, registrando-as devidamente na caixa de texto designada.

Figura 46 - Protótipo do dispositivo



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para a simulação do método de designação de demandas, primeiramente, foram geradas instâncias, cenários aleatórios que possibilitaram testar o método em diversas situações. Durante a criação das instâncias, foram selecionadas quantidades e posições aleatórias de pontos, fragmentos de área e diferentes tamanhos de mapa. Em cada cenário, uma demanda média geral foi definida, sendo atribuída uma demanda para cada fragmento de área, variando em torno da média

geral, e uma demanda para cada ponto, variando em relação ao fragmento de área ao qual pertenciam.

Em seguida foi feita a determinação da rota a ser percorrida pelo caminhão em cada cenário. Para isso, foi empregado um algoritmo simples. Inicialmente, um ponto de partida aleatório foi designado. Em seguida, para cada etapa subsequente, o próximo ponto escolhido para ser percorrido foi o mais próximo dentre os pontos ainda não visitados, até que todos os pontos fossem visitados.

Após a geração dos cenários, foi necessário criar os dias dentro de cada um deles. Nesse processo, uma variabilidade na demanda dos pontos foi estabelecida, variando em torno das demandas definidas inicialmente na criação do cenário. Além disso, os momentos de movimentação da chapa foram aleatoriamente designados.

Com os cenários e as simulações dos dias de coleta prontas, a demanda dos fragmentos de área foi calculada utilizando o método de distribuição de demandas proposto. Os valores de demanda calculados para os fragmentos de área em cada cenário foram, então, utilizados para calcular o erro médio absoluto. Essa métrica foi obtida pela soma dos valores absolutos resultantes da diferença entre a demanda média dos fragmentos de área prevista para o cenário e a demanda média calculada pelo método. O resultado dessa soma foi dividido pelo número de fragmentos de área, proporcionando o cálculo do desvio médio absoluto da simulação.

Esta explicação destaca o processo detalhado da simulação, abordando as etapas desde a geração de instâncias até a avaliação do desempenho do método proposto. A figura 43 contém o pseudocódigo do processo descrito.

Figura 47 - Pseudocódigo da simulação

```

1 Função Gerar_Instanceias():
2   Para cada Cenário de 1 a 1000:
3     Quantidade_De_Pontos = aleatório_entre(200, 500)
4     Sequencia_De_Pontos=Gera_Posições_Aleatórias(Quantidade_De_Pontos)
5     Quantidade_De_Fragmentos=aleatório_entre(10, 100)
6     Tamanho_Do_Mapas = [aleatório_entre(100, 1000), aleatório_entre(100, 1000)]
7     Demanda_Média_Geral = aleatório_entre(100, 1500)
8     Para cada Fragmento:
9       Variação_Fragmento = aleatório()/4
10      Demanda_Fragmento = variar(Demanda_Média_Geral,Variação_Fragmento)
11      Para cada Ponto:
12        Variação_Ponto = aleatório()/4
13        Demanda_Ponto = variar(Demanda_Fragmento,Variação_Ponto)
14      Sequencia_De_Pontos=Otimizar_Rota(Sequencia_De_Dontos)
15
16 Função Criar_Dias_No_Cenário(Cenário):
17   Para cada Dia:
18     Para cada ponto do Dia:
19       Variação_Ponto = aleatório()/4
20       Demanda_Ponto_Dia = variar(Demanda_Ponto,Variação_Ponto)
21     Sortear_Momentos_Movimentação_Chapa()
22
23 Função Simular_Coleta(Cenário, dias):
24   Para cada Dia no Cenário:
25     Demanda_Calculada = Calcular_Demanda_Fragmentos()
26     Para cada fragmento calculado:
27       Soma_Erros= Soma_Erros+abs(Demanda_Calculada(i)-Demanda_Fragmento_Cenario)
28   Erro_Médio_Absoluto = Soma_Erros/Quantidade_De_Fragmentos

```

Fonte: Autoria Própria (2023)

A simulação envolveu 1000 cenários distintos, com variação no número de pontos entre 1000 e 5000, e no número de dias entre 30 e 100. A última coluna da tabela reflete o resultado da divisão do Erro Médio Absoluto (EMA) pelo Desvio Médio Absoluto (DMA), fornecendo uma avaliação da precisão do método. Para atender à especificação-meta, o valor médio de EMA/DMA deveria ser igual ou inferior a 0,5. Este critério foi estabelecido com o objetivo de reduzir pela metade o erro em comparação com a simples atribuição do valor da média geral para todos os pontos. O valor obtido foi de 0,504, indicando que a especificação-meta foi alcançada. Na Tabela 1, apresentamos os resultados dos primeiros 10 cenários simulados.

Tabela 1 - Resultados da simulação

Cenário	Nº pontos	Nº dias	$\frac{EMA}{DMA}$
0	1679	51	0,427184
1	3338	63	0,525424
2	4275	31	0,566667
3	1490	73	0,218667
4	2162	74	0,417582
5	4437	45	0,568627
6	4193	74	0,518519
7	1980	67	0,40404
8	1623	88	0,300926
9	2133	65	0,413462

Cenário	Nº pontos	Nº dias	$\frac{EMA}{DMA}$
10	2568	63	0,419753
11	3230	62	0,424658
12	4178	99	0,583333
13	1684	96	0,424242
14	1295	49	0,510204

Fonte: Aatoria própria (2023)

7.4 Preparação da produção

7.4.1 Obter recursos de fabricação

A criação de uma lista de verificação para a obtenção dos recursos necessários à fabricação do dispositivo pode parecer uma tarefa simples e óbvia. No entanto, é fundamental destacar a importância dessa etapa no processo, pois ela desempenha um papel essencial na gestão de projetos, organizando informações críticas que podem impactar diretamente a eficiência do projeto.

A lista, neste caso, incluirá itens essenciais como a furadeira, ferro de solda, fita isolante, fita dupla face e um computador. Cada item será acompanhado pela data de entrega, nome do fornecedor e o valor de compra. Além de ser uma ferramenta de controle, a lista de verificação também contribui para a transparência e organização, permitindo que todos os envolvidos no projeto tenham visibilidade sobre o status da aquisição dos recursos. Portanto, essa é uma prática simples, porém essencial, que demonstra como a atenção aos detalhes pode fazer toda a diferença na execução de um projeto. A Figura 44 mostra a checklist de recursos de fabricação montado.

Figura 48 - Checklist de recursos de fabricação

Checklist de Recursos de Fabricação para Dispositivo de Medição de Volume de Resíduos	
Produto: Furadeira	Data de Entrega:
Fornecedor:	Valor:
Produto: F. de Solda	Data de Entrega:
Fornecedor:	Valor:
Produto: Fita Isolante	Data de Entrega:
Fornecedor:	Valor:
Produto: F. Dupla face	Data de Entrega:
Fornecedor:	Valor:
Produto: Computador	Data de Entrega:
Fornecedor:	Valor:

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.4.2 Detalhar procedimento de manutenção

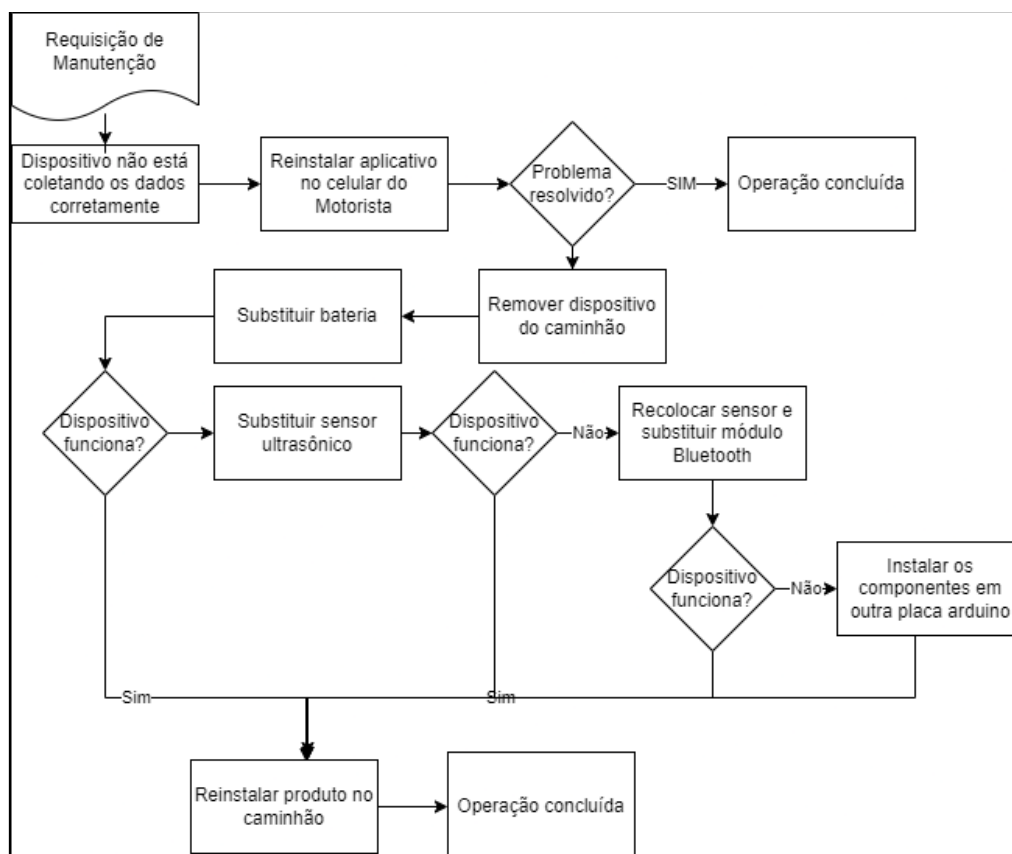
Quando enfrentamos um mau funcionamento no dispositivo, é fundamental seguir um processo estruturado para diagnosticar e solucionar o problema de forma eficaz. É importante seguir as etapas sequencialmente, testando o dispositivo após cada ação. Assim, podemos identificar e resolver qualquer problema que possa afetar o desempenho do dispositivo.

A primeira etapa começa com a recepção de uma solicitação de manutenção, geralmente devido ao dispositivo não coletar dados corretamente. Iniciamos tentando uma solução simples, reinstalar o aplicativo no celular do motorista, que se conecta ao dispositivo de medição de lixo. Isso pode resolver problemas de comunicação ou software.

Se o problema persistir após a reinstalação do aplicativo, é hora de verificar a bateria do dispositivo. Removemos o dispositivo do caminhão e substituímos a bateria. Se a substituição da bateria não solucionar o problema, o próximo passo é verificar o sensor ultrasônico. Substitua-o se houver suspeita de mau funcionamento.

Caso o dispositivo ainda não funcione corretamente, recomenda-se a substituição do módulo Bluetooth. Problemas de conectividade podem ser responsáveis pelos erros. Finalmente, se nenhum dos passos anteriores solucionar o problema, resta a opção de transferir os componentes para uma nova placa Arduino. Isso pode ser necessário se a placa original estiver danificada ou com defeito. O Fluxograma 2 detalha a manutenção do dispositivo.

Fluxograma 2 - Manutenção do dispositivo



Fonte: Autoria Própria (2023)

7.4.3 Treinamento

Durante o treinamento, é fundamental garantir a compreensão e o domínio dos conteúdos apresentados aos envolvidos. A capacitação adequada do pessoal envolvido assegura a correta utilização, manutenção e instalação do dispositivo, maximizando sua eficiência e contribuindo para o sucesso do projeto como um todo.

O treinamento para os motoristas concentra-se no conteúdo do manual de utilização do aplicativo e na correta utilização da Ficha de Requisição de Manutenção do dispositivo. São abordados tópicos relacionados à operação do

aplicativo, incluindo instruções de uso, funcionalidades e registros adequados para o monitoramento dos dados do dispositivo.

O treinamento direcionado à equipe de instalação e manutenção do dispositivo abrange o conteúdo dos manuais e fluxogramas de procedimentos de instalação, montagem e manutenção, bem como os circuitos do dispositivo. São apresentadas orientações técnicas e passos sequenciais a serem seguidos para a correta execução das atividades de montagem e manutenção, incluindo a identificação de possíveis problemas e soluções. O treinamento destinado aos responsáveis pela instalação do dispositivo enfoca o conteúdo do fluxograma de instalação.

O treinamento destinado aos responsáveis pelo recebimento dos dados abrange o conteúdo dos manuais do software e aplicativo e a correta utilização da Ficha de Requisição de Manutenção do dispositivo. São fornecidas orientações detalhadas sobre o funcionamento do software, sua interface e recursos, bem como instruções para o preenchimento adequado da ficha de manutenção.

7.5 Implementação

7.5.1 Organizar parada de caminhões

Para a efetivação da programação das paradas dos caminhões, foi desenvolvido um checklist que atua como um instrumento de controle durante as interrupções operacionais. Este checklist, de natureza simples e eficaz, inclui campos específicos para o registro das informações essenciais. Dentre os dados a serem preenchidos, destacam-se a placa do caminhão, a data da parada, bem como os horários de início e término da instalação do dispositivo.

A inclusão desses campos estratégicos visa garantir um registro completo e preciso das paradas, fornecendo dados fundamentais para análises subsequentes. Este procedimento não apenas contribui para a organização da coleta de resíduos, mas também proporciona uma base sólida para o monitoramento efetivo do processo de implementação do dispositivo. Ademais, a simplicidade do checklist visa facilitar a sua aplicação, assegurando que as informações cruciais sejam documentadas de maneira sistemática e acessível. A Figura 45 mostra um modelo de controle de parada dos caminhões.

Figura 49 - Controle de parada dos caminhões

Controle de Parada de Caminhões	
PLACA: _____	DATA DE PARADA: _____
INÍCIO: _____	TÉRMINO: _____
PLACA: _____	DATA DE PARADA: _____
INÍCIO: _____	TÉRMINO: _____
PLACA: _____	DATA DE PARADA: _____
INÍCIO: _____	TÉRMINO: _____
PLACA: _____	DATA DE PARADA: _____
INÍCIO: _____	TÉRMINO: _____

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.5.2 Comunicado de mau funcionamento

A comunicação entre o motorista e o responsável pela coleta de dados pode ser realizada por meio de aplicativos de mensagens, como o Whatsapp. Essa abordagem permite uma forma ágil e eficiente de troca de informações entre as partes envolvidas no processo. O motorista utilizará o aplicativo para enviar os dados coletados pelo dispositivo, como as variações de volume detectadas durante a compactação dos resíduos. Essa comunicação facilita o registro e o compartilhamento dessas informações de forma imediata e conveniente.

Além disso, o aplicativo de mensagem também servirá como um canal para relatar qualquer problema de funcionamento do dispositivo. Caso ocorra algum defeito ou anomalia, o motorista poderá entrar em contato com o responsável pela coleta de dados através do aplicativo, informando sobre a ocorrência e fornecendo detalhes relevantes para que o analista possa acionar o responsável pela manutenção. Essa comunicação rápida e direta contribui para a identificação e resolução ágil de eventuais problemas, permitindo que a manutenção ou ajustes necessários sejam realizados prontamente.

A utilização de aplicativos de mensagens instantâneas como meio de comunicação nesse contexto oferece vantagens, como a familiaridade e acessibilidade da plataforma para a maioria dos usuários, a possibilidade de enviar mensagens escritas, imagens ou vídeos para melhor ilustrar as informações transmitidas, e a facilidade de registro e consulta de conversas anteriores para referência futura. A Figura 46 mostra um modelo de ficha de requisição de manutenção.

Figura 50 - Ficha de requisição de manutenção

M001	Requisição de Manutenção
PLACA: _____	
DATA REQUISIÇÃO: _____	
ASS. REQUISITANTE: _____	

M001	Registro de Recebimento
DATA PREVISTA: _____	
INÍCIO: _____ TÉRMINO: _____	
ASS. RESPONSÁVEL: _____	

Fonte: Autoria Própria (2023)

7.5.3 Execução da implementação

Para garantir o correto funcionamento do dispositivo, é essencial realizar uma série de atividades durante a implementação. Primeiramente, é necessário assegurar que todos os dispositivos a serem instalados e todos os recursos de instalação estejam disponíveis. Após a preparação dos componentes, é importante verificar se o sensor ultrassônico está operando adequadamente. Isso pode ser feito por meio de testes de detecção de variação de volume, a fim de garantir a precisão das medições realizadas pelo dispositivo.

Outro aspecto crucial é testar a comunicação entre o dispositivo e o celular por meio do módulo Bluetooth. É necessário verificar se as informações de variação de volume estão sendo corretamente enviadas para o aplicativo, permitindo a visualização e o registro dos dados coletados. Além disso, é fundamental verificar a

coleta de posições geográficas utilizando o GPS do celular. Isso garante que a localização seja devidamente associada aos dados coletados, possibilitando a análise precisa da variação de volume nos diferentes pontos de coleta.

Para garantir a efetiva utilização do dispositivo, é recomendado realizar treinamentos com a equipe envolvida na implementação. Esses treinamentos devem abordar o uso do dispositivo, os procedimentos de instalação, a coleta de dados e a solução de problemas. Dessa forma, a equipe estará preparada para lidar com as diferentes etapas do processo e maximizar a eficiência do dispositivo. É importante também programar paradas regulares dos caminhões e registrar essas paradas em uma ficha de controle específica. Essa prática auxilia na organização do processo e permite um acompanhamento mais detalhado da instalação dos dispositivos em cada veículo.

Com todos esses elementos devidamente atendidos, a instalação dos dispositivos poderá ser iniciada, garantindo que os caminhões compactadores estejam equipados com os dispositivos medidores de resíduo de forma adequada e funcionando corretamente. Um modelo de checklist é apresentado na Figura 47.

Figura 51 - Checklist de implementação

Checklist de Implementação	
<input type="checkbox"/>	Conferir disponibilidade dos dispositivos e recursos de instalação.
<input type="checkbox"/>	Verificar o funcionamento do sensor ultrassônico.
<input type="checkbox"/>	Testar a comunicação entre o dispositivo e o celular por meio do módulo Bluetooth.
<input type="checkbox"/>	Verificar a coleta de posições geográficas utilizando o GPS do celular.
<input type="checkbox"/>	Realizar treinamentos com a equipe envolvida.
<input type="checkbox"/>	Programar parada dos caminhões e registrar na ficha de controle de parada de caminhões.
<input type="checkbox"/>	Iniciar a instalação dos dispositivos.

Fonte: Autoria Própria (2023)

8 PÓS-DESENVOLVIMENTO

8.1 Avaliação do produto

Para a avaliação do produto, foram formuladas perguntas específicas, nas quais as respostas são quantificadas em uma escala de 1 a 5. Nessa escala, o valor 1 representa um grau de satisfação mínimo, enquanto o valor 5 denota plena satisfação com determinado aspecto do produto. Essa abordagem permite uma avaliação mais precisa e quantitativa da qualidade e do desempenho do dispositivo em questão.

8.1.1 Avaliar praticidade da instalação

A facilidade de instalação do dispositivo no caminhão avalia o quão simples e descomplicado é o processo de instalação do dispositivo no veículo utilizado para a coleta de resíduos. Considera-se a facilidade de conexão e fixação do dispositivo de medição. As perguntas elaboradas foram -

- O quão rápido é o processo de instalação do dispositivo?
- Você se sentiu seguro ao acessar a parte interna do baú do caminhão?
- O dispositivo é fácil de ser calibrado?

8.1.2. Avaliar interface do aplicativo

A interface do aplicativo deve ser avaliada quanto à clareza, organização e interatividade para receber e visualizar os dados coletados pelo dispositivo. Considera-se a clareza das informações apresentadas, a organização dos recursos e a facilidade de navegação e interação do usuário. As perguntas elaboradas foram -

- Você teve facilidade para entender o funcionamento do aplicativo?
- Você consegue enviar os dados coletados de forma rápida e prática?
- Você consegue iniciar a coleta de dados de forma rápida e prática?

8.1.3 Avaliar precisão do dispositivo

Deve ser avaliada a precisão do dispositivo em detectar variações de volume durante a compactação dos resíduos, verificando a capacidade do dispositivo em registrar de forma acurada as alterações de volume ocorridas durante o processo de compactação. A exatidão e confiabilidade do dispositivo ao coletar as informações de posição geográfica por meio do GPS do celular também deve ser avaliada, avaliando a precisão na identificação da localização geográfica onde ocorreu a variação de volume.

- Os dados de volume coletados pelo dispositivo parecem confiáveis?
- As coordenadas geográficas coletadas pelo dispositivo parecem confiáveis?

8.1.4 Avaliar confiabilidade da comunicação

Quanto à confiabilidade da comunicação estabelecida entre o dispositivo e o aplicativo por meio do módulo Bluetooth, verifica-se a estabilidade da conexão e a capacidade de transferência eficiente e sem perdas de dados entre os dispositivos. A estabilidade e consistência do funcionamento do dispositivo durante o uso diário também deve ser avaliada. É necessário verificar se o dispositivo é capaz de operar de maneira estável e confiável ao longo do tempo, sem apresentar falhas frequentes ou interrupções inesperadas.

- O dispositivo se conecta facilmente com o aplicativo?
- O dispositivo consegue se comunicar com o aplicativo durante toda a viagem?

8.1.5 Avaliar resposta ao ambiente

Deve-se verificar capacidade do dispositivo em responder adequadamente em diferentes condições ambientais, como variações de temperatura, umidade, poeira, vibrações, entre outros fatores. Considera-se a capacidade do dispositivo em manter seu desempenho e funcionalidade independentemente do ambiente em que está inserido. Quanto à durabilidade dos componentes utilizados no dispositivo, verifica-se a resistência e vida útil dos materiais e componentes empregados na construção do dispositivo, medindo sua resistência às ações do tempo e ambientais. Esse questionário deve ser respondido pela equipe de dados.

- As trepidações do caminhão atrapalham o desempenho do dispositivo?
- O dispositivo tem uma vida útil satisfatória?

8.2 Critérios de avaliação da nova tecnologia

A descontinuação do produto ocorrerá quando a empresa decidir investir em uma tecnologia mais sofisticada ou identificar a necessidade de substituição do produto por uma solução mais atualizada. Um dos principais critérios a serem avaliados ao analisar uma nova tecnologia a ser implementada é o custo. Deve-se avaliar os custos associados à adoção da nova tecnologia, incluindo investimentos

em hardware, software, treinamento, manutenção e suporte. Além disso, é necessário considerar o quanto esse novo investimento impactará na empresa.

Outra característica importante considerada para um produto substituto é a qualidade do serviço de atendimento que a empresa disponibilizaria para a resolução de problemas relacionados a possíveis defeitos, proporcionar personalizações quanto a forma como os dados são apresentados, atendimento ágil, ou outros aspectos que possam se mostrar relevantes de acordo com as necessidades da empresa.

O desempenho da nova tecnologia em termos de velocidade, capacidade, confiabilidade e escalabilidade também é um critério, considerado observando se a nova tecnologia é capaz de lidar com as demandas atuais e futuras da empresa, sem comprometer o desempenho. Quanto às funcionalidades e recursos oferecidos pela nova tecnologia, verifica-se se ela atende às necessidades específicas da empresa e se possui recursos avançados que possam agregar valor ao negócio.

Constatou-se que é necessário verificar a disponibilidade de recursos técnicos e humanos necessários para implementar e manter a nova tecnologia, avaliando se a empresa possui capacidade interna ou se é necessário contar com fornecedores ou parceiros externos para garantir o suporte adequado.

É necessário também avaliar a compatibilidade da nova tecnologia com os sistemas e infraestrutura existentes na empresa, considerando se a nova tecnologia pode coexistir harmoniosamente com os sistemas em uso. Verificar também se a nova tecnologia atende aos requisitos específicos do negócio, levando em consideração as necessidades e objetivos da empresa. Analisando sua capacidade de suportar as operações, estratégias e metas de longo prazo da organização.

A figura 48 mostra uma matriz de decisão desenvolvida para a adoção de uma potencial nova tecnologia, composta por uma tabela organizada em colunas. A primeira coluna lista os critérios de avaliação, a segunda coluna atribui pesos a esses critérios, refletindo sua importância. A terceira coluna permite a atribuição de notas de 1 a 5 para a tecnologia em relação a cada critério, enquanto a quarta coluna calcula as notas ajustadas, refletindo a importância ponderada de cada critério. A penúltima linha da tabela resume a avaliação geral, somando todas as notas ajustadas, e a última linha estabelece a nota mínima necessária para a aprovação da tecnologia, oferecendo uma visão consolidada e um critério claro de

aprovação ou rejeição. Essa ferramenta fornece uma abordagem sistemática e quantitativa para a avaliação da nova tecnologia.

Figura 52 - Matriz de decisão

Critério	Peso	Nota	Nota Ajustada
Custo de investimento			
Custos fixos adicionais			
Qualidade do serviço de assistência técnica			
Qualidade do serviço de manutenção			
Agilidade para o processo			
Precisão			
Disponibilidade de recursos			
Compatibilidade			
Nota Total			
Nota mínima para aprovação da tecnologia			

Fonte: Autoria Própria (2023)

8.3 Transição para nova tecnologia

O processo de processo de transição de dados do produto existente para a nova solução, para retirada dos dispositivos do produto anterior e implementação da nova tecnologia requer cuidados e procedimentos adequados para garantir uma migração segura e precisa. A figura 49 mostra um diagrama que resume a sequência de passos para a transição para uma nova tecnologia.

Deve-se garantir a integração da nova solução ao ambiente operacional da empresa, levando em consideração fatores como infraestrutura de TI, sistemas de gestão existentes, processos internos e requisitos específicos do negócio. É importante planejar e executar a integração de forma gradual e testada, minimizando impactos nas operações diárias.

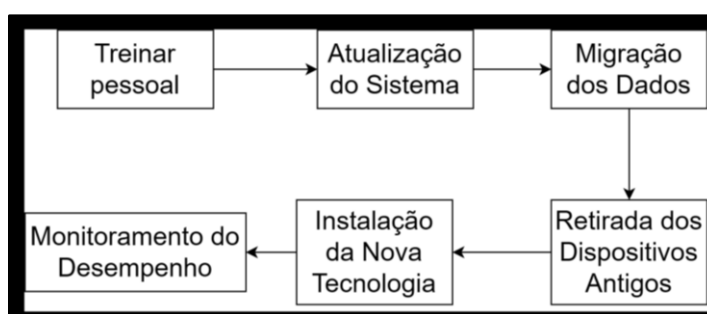
Caso seja necessário, é importante atualizar os sistemas utilizados pela empresa para garantir compatibilidade com a nova solução. Isso pode incluir atualizações de software, integração com APIs ou ajustes de configuração. É essencial fornecer treinamento adequado aos colaboradores envolvidos na utilização e operação da nova solução. Isso inclui instruções sobre a instalação dos novos dispositivos, operação do software/aplicativo, coleta e envio de dados, além de treinamento para lidar com eventuais problemas ou situações de falha.

Durante a transição, é fundamental garantir a migração segura e precisa dos dados do produto anterior para a nova solução. Isso pode envolver a

exportação/importação de dados, conversão de formatos, validação e verificação da integridade dos dados migrados. É recomendado realizar testes prévios em ambiente controlado antes de migrar os dados em produção, a fim de minimizar riscos de perda ou corrupção de dados.

É necessário realizar a desinstalação dos dispositivos do produto anterior. Isso envolve a remoção física dos dispositivos dos caminhões, desligamento de conexões e retirada de componentes. Após a implementação da nova tecnologia, é importante monitorar o desempenho, a estabilidade e a eficácia da solução. Isso envolve o acompanhamento dos processos, a identificação de possíveis falhas ou ajustes necessários e a oferta de suporte técnico aos colaboradores.

Figura 53 - Transição para nova tecnologia



Fonte: Autoria Própria (2023)

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que a tecnologia avança em um ritmo incessante e as exigências no âmbito socioambiental crescem, os desafios relacionados à coleta de resíduos também evoluem. Este trabalho, indo além do mero desenvolvimento tecnológico, buscou transcender essa abordagem, concentrando-se em uma jornada desde a identificação das necessidades do cliente até uma possível descontinuação do produto. Isso permite à empresa abrir espaço para tecnologias mais avançadas, enquanto atende às demandas emergentes em um contexto socioambiental dinâmico.

A aplicação do modelo geral de Rozenfeld *et al.* (2006) para o desenvolvimento do projeto foi fundamental na condução eficaz de todas as fases. Este modelo proporcionou uma estrutura abrangente que guiou a adaptação para um contexto específico, fornecendo direcionamento claro em cada etapa do trabalho. Cada fase do projeto foi alinhada às correspondentes etapas do modelo

geral, assegurando uma abordagem sistemática e integrada, destacando a eficácia dessa abordagem metodológica na condução bem-sucedida do projeto.

A construção do dispositivo, em sua simplicidade, não constituiu o desafio predominante. O verdadeiro desafio foi a adaptação do projeto, garantindo que a implementação fosse tão acessível e econômica quanto possível. Essa abordagem visou demonstrar a viabilidade de modernizar os processos de coleta, mesmo com recursos financeiros limitados. Para alcançar esse objetivo, tornou-se necessário ouvir as empresas e compreender como suas demandas específicas poderiam ser satisfeitas, orientando o desenvolvimento do produto e dos processos de forma analítica e organizada. Simulações e a construção de protótipos ratificaram a funcionalidade do dispositivo, revelando uma precisão satisfatória no cálculo da distribuição das demandas.

No entanto, a aplicação prática desse projeto em um ambiente empresarial real permanece um próximo passo essencial. Isso permitirá verificar a eficácia do dispositivo e identificar quaisquer necessidades de ajuste que somente se tornam aparentes em situações reais de operação. Adicionalmente, este trabalho foi meticulosamente concebido para servir como um modelo flexível, adaptável às particularidades de cada empresa. A intenção é que a empresa possa customizar o dispositivo e os processos de acordo com suas próprias necessidades, maximizando a eficiência em suas operações de coleta de resíduos.

Ao tornar acessível uma tecnologia capaz de reduzir a rota total percorrida pelo caminhão, o trabalho cumpre seu papel socioambiental, pois isso contribui para a redução das emissões de CO₂ na atmosfera e oferece um serviço eficiente e acessível à sociedade. Além disso, ao promover mais eficiência operacional e baixo custo, o produto torna-se atrativo para as empresas, equilibrando benefícios econômicos e ambientais.

Assim, este trabalho apresenta uma estrutura abrangente que considera não só o desenvolvimento tecnológico, mas também as necessidades do usuário e os procedimentos de implementação no contexto da coleta de resíduos. Oferece uma perspectiva concreta sobre a otimização de processos, mesmo em condições financeiras restritas, e evidencia a viabilidade da modernização da indústria de coleta de resíduos.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, (2015). Disponível em: [<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2015/>]. Acesso em: 16 maio 2023.
- AKHTAR, M. *et al.* **Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization**. Waste Management, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 117-128, mar. 2017.
- BADRAN, M. F.; EL-HAGGAR, S. M. **Optimization of municipal solid waste management in Port Said – Egypt**. Waste Management, v. 26, n. 5, p. 534-545, 2006.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L. **Discrete-event system simulation**. Upper Saddle River - Prentice Hall, 1996.
- BELIËN, J.; DE BOECK, L.; VAN ACKERE, J. **Municipal solid waste collection and management problems - a literature review**. Transportation Science, v. 48, n. 1, p. 78-102, 2014.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 3. ed. São Paulo - Prentice Hall, 1983.
- CHOWDHURY, A. F.; CHOWDHURY, P. R. **Holdout and eminent domain in land acquisition**. Journal of Economic Development, v. 32, n. 2, p. 131-144, 2007.
- CHOWDHURY, N. N.; CHOWDHURY, N. S. **Psychiatric Morbidity in Hospitalized Cancer Patients**. *Bang J Psychiatry, Dhaka*, v. 21, n. 1, p. 50-56, 2007.
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance - strategy, organization, and management in the world auto industry**. Boston - Harvard Business School Press, 1992.
- COOPER, R. G.; KLEINSCHMIDT, E. J. **Benchmarking the firm's critical success factors in new product development**. Journal of Product Innovation Management, v. 12, n. 5, p. 374-391, 1995.
- COX, M. G. *et al.* **The evaluation of key comparison data**. Metrologia, v. 38, n. 1, p. 35-53, 2001.
- DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. **Reverse logistics network for municipal solid waste management - The inclusion of waste pickers as a**

- Brazilian legal requirement.** Waste Management, Amsterdam, v. 40, n. 1, p. 173-191, 2015.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre - Editora da UFRGS, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo - Atlas, 1991.
- GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. **Solid waste management challenges for cities in developing countries.** Waste Management, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 220-232, 2013.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research.** 6. ed. New York - McGraw-Hill, 1995.
- JUN, H. B.; SUH, H. W. **Process-oriented design information for design process improvement.** Expert Systems with Applications, v. 34, n. 3, p. 1784-1796, 2008.
- KAEBERNICK, H.; KARA, S.; SUN, M. **Sustainable product development and manufacturing by considering environmental requirements.** Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 19, n. 6, p. 461-468, 2003.
- KINOBE, J. R. *et al.* **Optimization of waste collection and disposal in Kampala city.** Open Journal of Civil Engineering, v. 6, n. 2, p. 173-191, mar. 2016.
- LAURERI, Federica; MINCIARDI, Riccardo; ROBBA, Michela. **An algorithm for the optimal collection of wet waste.** Waste Management, Oxford: Elsevier, v. 48, (2016), p. 56-63.
- LUSTOSA, L. J.; PONTE, B.; DOMINAS, A. **Simulação de Monte Carlo.** In - LUSTOSA, L. J. *et al.* (Org.). Pesquisa operacional para cursos de engenharia. Rio de Janeiro - Elsevier, 2004. p. 311-334.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2018.** Brasília: MDR, (2018). Disponível em: [<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2018>]. Acesso em: 13 mar. 2023.
- MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Decision modeling with Microsoft Excel.** 6. ed. Upper Saddle River - Prentice Hall, 2001.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design - a systematic approach.** London - Springer, 1996.

- PIDD, M. **Tools for thinking - modelling in management science**. Chichester - John Wiley, 1996.
- PRADO, D. S. **Simulação - uma abordagem prática**. Belo Horizonte - Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.
- PUJARI, D.; WRIGHT, G.; PEATTIE, K. **Green and competitive - influences on environmental new product development performance**. *Journal of Business Research*, v. 56, n. 8, p. 657-671, 2003.
- RAI, R. K.; BHATTARAI, M.; NEUPANE, K. **Designing solid waste collection strategy in small municipalities of developing countries using choice experiment**. *Waste Management*, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 243-254, 2017.
- ROUNDS, J.; COOPER, P. D. **Teaching and learning communication skills in social work education**. *Social Work Education*, v. 21, n. 2, p. 215-226, 2002.
- ROVETTA, A. *et al.* **Early detection and evaluation of waste through sensorized containers for a collection monitoring application**. *Waste Management*, v. 29, n. 12, p. 2939-2949, 2009.
- ROZENFELD *et al.* (2006), **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo - Saraiva, 2006.
- SINGH, A.; AGGARWAL, A.; ARORA, A. **IoT based waste collection system using infrared sensors**. In - INTERNATIONAL CONFERENCE ON RELIABILITY, INFOCOM TECHNOLOGIES AND OPTIMIZATION, 5., 2016, Noida. Noida - IEEE, 2016. p. 1-6.
- SOBOL, I. M. **A primer for the Monte Carlo method**. Boca Raton - CRC Press, 1994.
- SON, L. H. **Optimizing Municipal Solid Waste collection using Chaotic Particle Swarm Optimization in GIS based environments - A case study at Danang city, Vietnam**. *Waste Management*, Amsterdam, v. 52, n. 1, p. 34-49, nov. 2015.
- TAVELLA, L. A. **Medição de distâncias por meio de sensores ultrassônicos**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 195-201, 2007.
- VERNADAT, F. B. **Enterprise modeling and integration - principles and applications**. London - Chapman & Hall, 1996.
- WEI, Z. *et al.* **Deformable Convolutional Networks**. In - IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 2017, Venice. Venice - IEEE, 2017. p. 764-773.

YUSOF, N. *et al.* **Smart bin with real-time monitoring system using wireless sensor network.** In - INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONIC DESIGN, 2018, Penang. Penang - IEEE, 2018. p. 1-5.