



## SMARTSORT: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA SELEÇÃO INTELIGENTE DE RESÍDUOS

Breno Borges Vilela <sup>1</sup>; Luiz Gustavo Ferreira Silva <sup>2</sup>; Anderson José Luiz Santana <sup>3</sup>; Leonardo Estevam de Oliveira <sup>4</sup>; Marcos Paulo Gonçalves Pedroso <sup>5</sup>

1 Bolsista IFMG, Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFMG *Campus* Arcos, Arcos – MG; [brenoborges1810@gmail.com](mailto:brenoborges1810@gmail.com)

2 Bolsista IFMG, Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFMG *Campus* Arcos, Arcos – MG; [luizf7116@gmail.com](mailto:luizf7116@gmail.com)

3 Voluntário IFMG, Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFMG *Campus* Arcos, Arcos – MG; [andersoneng.mec@gmail.com](mailto:andersoneng.mec@gmail.com)

4 Voluntário IFMG, Bacharelado em Engenharia Mecânica, IFMG *Campus* Arcos, Arcos – MG; [leonardoliveira037@gmail.com](mailto:leonardoliveira037@gmail.com)

5 Orientador: Pesquisador do IFMG, IFMG *Campus* Arcos; [marcos.pedroso@ifmg.edu.br](mailto:marcos.pedroso@ifmg.edu.br)

### RESUMO

O projeto *SmartSort* visa desenvolver um sistema automatizado para a seleção inteligente de resíduos, com o objetivo de otimizar a coleta seletiva e reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de materiais recicláveis. Diante do aumento da produção de resíduos sólidos, o sistema utiliza sensores conectados a uma plataforma Arduino Uno para detectar e categorizar materiais como metais, vidros, papéis e plásticos, permitindo sua segregação automática em compartimentos distintos. A metodologia do projeto envolveu uma análise detalhada do problema e a definição de requisitos técnicos, o que orientou a escolha dos componentes mais adequados. Sensor indutivo foi escolhido para a detecção de metais, sensores capacitivos para papéis e vidros, e o sensor ultrassônico para plásticos. Com base nesses critérios, foi montado o protótipo, desenvolvido desenho CAD e uma estrutura modular que facilita manutenções e adaptações futuras. O modelo 3D apresenta quatro compartimentos identificados, assegurando um processo de separação e visualmente acessível ao usuário. Após a montagem, foram realizados testes para ajustar a posição dos sensores e garantir que cada resíduo fosse corretamente identificado e direcionado para o compartimento adequado, evitando falhas de detecção. Estes testes demonstraram que o *SmartSort* é capaz de realizar a identificação dos resíduos e na alocação nos compartimentos corretos. Programado em C/C++ no ambiente Arduino IDE, o sistema controla totalmente os sensores e atuadores, promovendo a automação do processo e reduzindo o descarte incorreto de resíduos. Além de alcançar seu objetivo principal, o *SmartSort* possui grande potencial para futuras expansões, como o uso de outras tecnologias como Raspberry Pi para processamento de imagem e uso de inteligência artificial, visando maior precisão na separação dos resíduos, ou até mesmo a adaptação de outros sensores para identificação de outros resíduos. O projeto oferece uma solução prática e acessível para promover a reciclagem e a sustentabilidade em empresas, comunidades e escolas, contribuindo para uma gestão de resíduos mais eficiente e a redução dos impactos ambientais.

**PALAVRAS CHAVES:** Seleção de Resíduos. Automação. Arduino. Sensores. Sustentabilidade.



## INTRODUÇÃO:

A crescente demanda por soluções sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias inovadoras para a gestão de resíduos, buscando minimizar os impactos ambientais e promover a reciclagem. Em um contexto global onde a produção de resíduos aumenta exponencialmente, sistemas automatizados para a seleção inteligente desses materiais emergem como alternativas promissoras. O uso de plataformas como o Arduino, integradas com sensores específicos, possibilita a criação de sistemas capazes de identificar e categorizar resíduos, facilitando a separação e o reaproveitamento de materiais recicláveis.

Estudos recentes indicam que a aplicação de sensores ultrassônicos, indutivos e capacitivos na triagem de resíduos possibilitam a identificação dos resíduos. Projetos desenvolvidos por Nunes (2018), Sousa e Costa (2019) exploram a viabilidade de sistemas automatizados e servem como referência para novas soluções tecnológicas aplicadas à sustentabilidade. A integração dessas tecnologias no *SmartSort* visa criar um sistema eficiente e acessível que possa ser implementado em diferentes ambientes, desde comunidades locais até empresas, incentivando práticas sustentáveis.

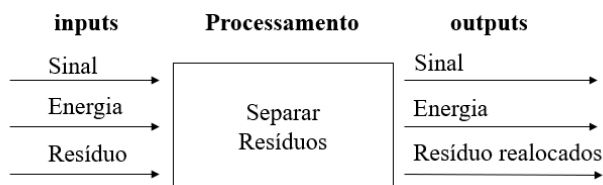
A motivação principal deste projeto é contribuir para a mitigação dos impactos negativos associados à gestão inadequada de resíduos. No Brasil, estima-se que cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos são descartados de forma incorreta, afetando diretamente a saúde e o meio ambiente (ABRELPE, 2022). Com o desenvolvimento do *SmartSort*, busca-se não apenas otimizar a triagem de resíduos, mas também incentivar a conscientização ambiental, oferecendo uma solução prática e acessível. Ao abordar a coleta seletiva de maneira automatizada, o sistema proposto pretende reduzir o volume de resíduos descartados inadequadamente, promovendo a reciclagem e apoiando o desenvolvimento sustentável.

## METODOLOGIA:

A metodologia empregada no desenvolvimento do sistema SmartSort foi organizada em diferentes etapas para garantir a implementação de um sistema de seleção inteligente de resíduos com desempenho otimizado.

O trabalho começou com uma análise detalhada do escopo do problema, estabelecendo os requisitos e as funções necessárias para alcançar os objetivos propostos. A partir disso, a função global do projeto é desenvolver uma lixeira inteligente, capaz de selecionar os componentes adequadamente e realocá-los nos devidos locais estabelecidos. Na Figura 1 demonstra-se a função global com suas entradas e saídas.

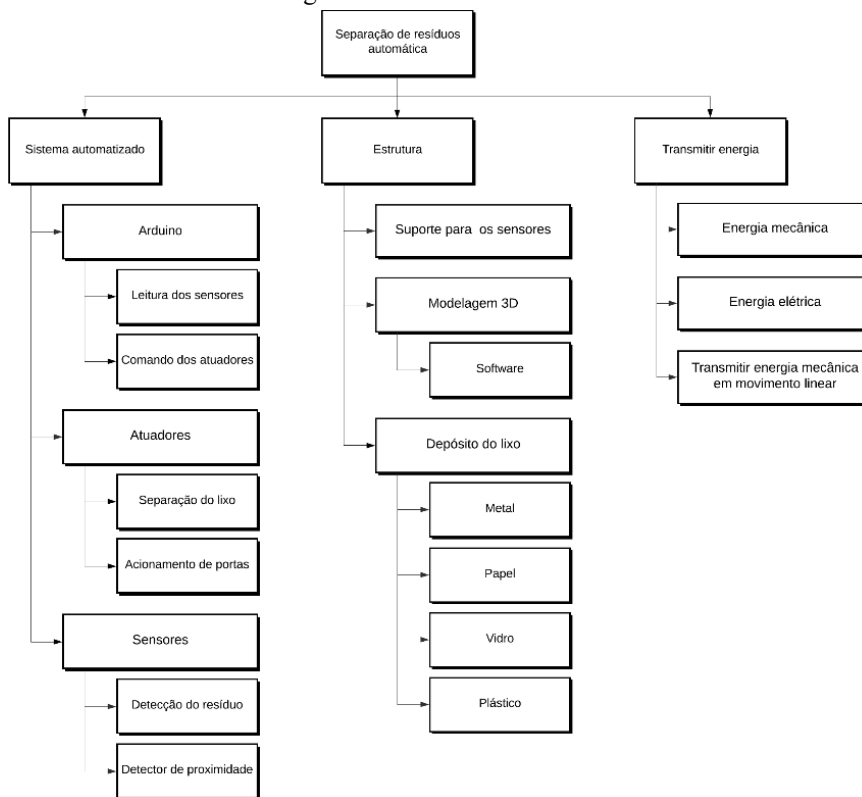
Figura 1 – Função global



Fonte: Próprios autores.

A partir da função global, foi elaborada uma estrutura funcional, conforme ilustrado na Figura 4. Essa estrutura funcional engloba as funções parciais e elementares que são essenciais para a geração dos princípios de solução.

Figura 2 – Estrutura funcional



Fonte: Próprios autores.

Na sequência, foram definidos os princípios de solução por meio de uma análise de variantes, um método que permite explorar diferentes abordagens para as funções identificadas. Esta análise foi  
XII Seminário de Iniciação Científica do IFMG – 02 a 04 de dezembro de 2024, Planeta IFMG 2024.

baseada em critérios como sensibilidade, precisão, robustez, custo e alcance, e resultou na escolha dos melhores componentes e soluções técnicas. Para exemplificar, foram considerados sensores indutivos para detecção de metais, sensores capacitivos para identificação de papéis e vidros, e por fim sensores ultrassônicos para detecção plásticos.

Para a seleção dos componentes finais, foi utilizada uma combinação de variantes que comparou os atributos dos sensores, atuadores e unidades de controle, atribuindo notas de acordo com o atendimento dos critérios estabelecidos. Esta abordagem garantiu que os elementos escolhidos fossem os mais adequados para otimizar o desempenho do sistema. Assim a Tabela 1 a seguir, exibe a combinação de variantes aplicada a diferentes modelos de Arduino, onde foram atribuídas pontuações de 1 – 5, sendo 5 o atendimento integral dos requisitos, e 1 para não atendimento dos requisitos. A decisão final baseou-se na avaliação do somatório mais elevado entre os três itens considerados, sendo o melhor avaliado, o item selecionado para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 1 – Exemplo combinação de variantes aplicada ao Arduino

Critério	Peso do critério	Due		Uno		Mega	
		V1	W <sub>i</sub> xV1	V2	W <sub>i</sub> xV2	V3	W <sub>i</sub> xV3
Potência de Processamento	5	5	25	3	15	3	20
Conectividade	4	4	16	3	12	3	12
E/S Digitais e Analógicas	4	4	16	4	12	5	20
Tamanho e Formato	3	3	9	5	15	3	9
Custo	4	1	4	5	20	2	8
<b>Total</b>	–	70		74		69	

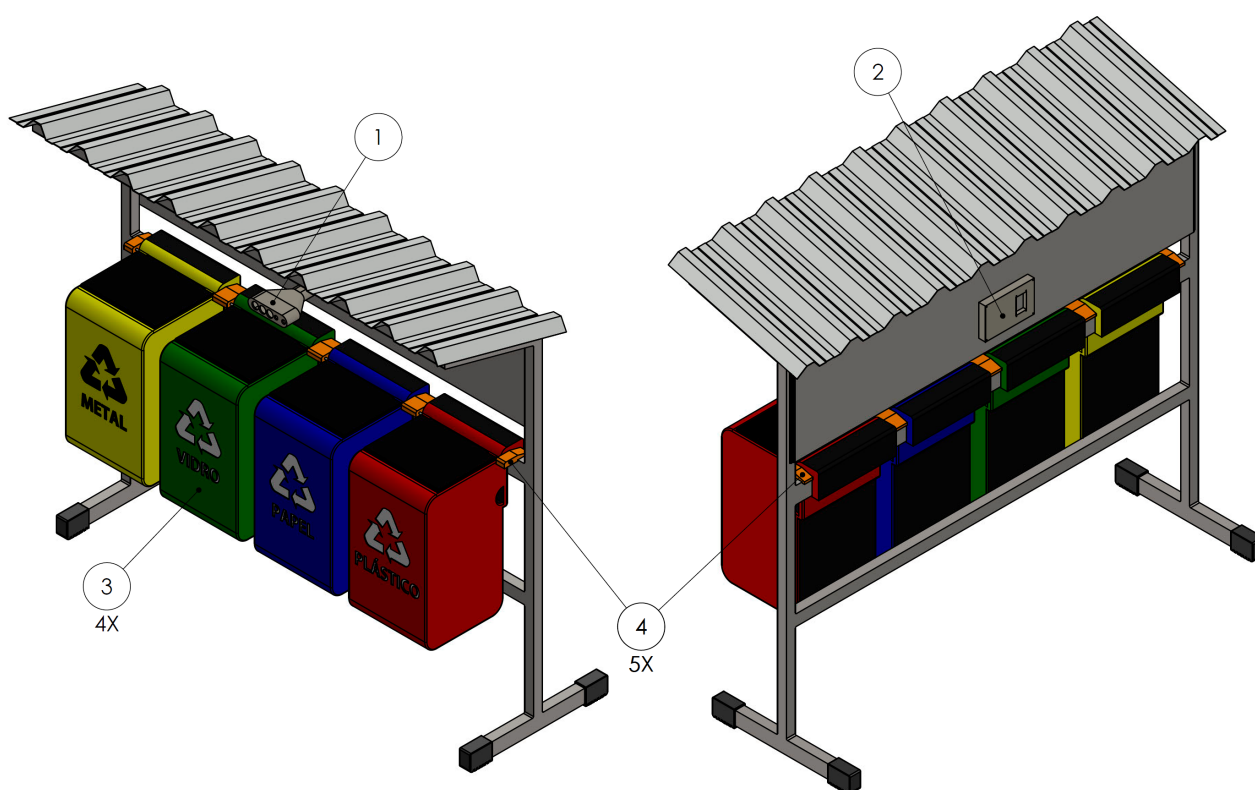
Fonte: Próprios autores.

Com os componentes selecionados, a etapa de desenho CAD e montagem do protótipo foi realizada. O sistema foi projetado para ser modular, facilitando futuras modificações e manutenção. A programação do Arduino, feita em C/C++ no ambiente Arduino IDE, possibilitou o controle dos sensores e atuadores, permitindo a automação do processo de segregação de resíduos. Após a montagem, foram realizados testes em campo para validar a eficácia do sistema, com ajustes implementados para melhorar a precisão e a resposta em diferentes condições operacionais.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Os procedimentos realizados levaram à obtenção de um protótipo detalhado e funcional, conforme representado no modelo 3D desenvolvido (Figura 3).

Figura 3 – Protótipo virtual do sistema



Fonte: Próprios autores.

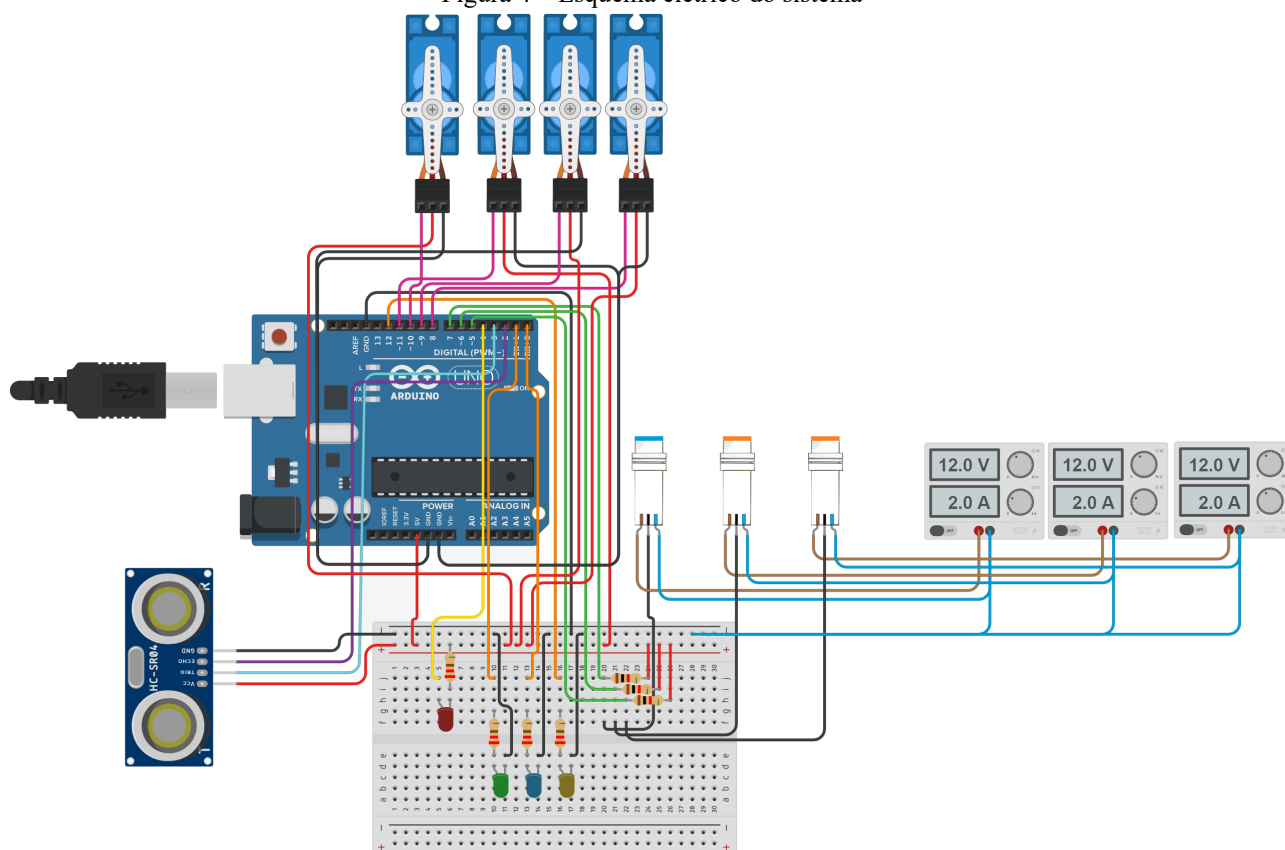
Ele ilustra um sistema de segregação de resíduos composto por quatro compartimentos distintos para metais, vidro, papel e plásticos. Os depósitos de resíduos são dispostos lado a lado, cada um identificado e projetado para um tipo específico de material, o que facilita o processo de separação automática e visual do usuário.

A estrutura do modelo conta com um invólucro para sensores (item 1), que são posicionados estrategicamente para permitir a identificação dos resíduos conforme descrito na metodologia. O compartimento do Arduino (item 2) acomoda os componentes eletrônicos essenciais para o controle do sistema, oferecendo proteção contra fatores externos e facilitando futuras manutenções ou ajustes.

Os depósitos de resíduos (item 3) são projetados para assegurar um fluxo eficiente do processo de segregação, garantindo que cada tipo de material seja devidamente separado e armazenado. Além disso, a estrutura dos atuadores (item 4) contribui para a automação do sistema, realizando a abertura e o fechamento dos compartimentos de acordo com os sinais recebidos dos sensores. A modularidade e o design deste modelo reforçam a adaptabilidade e o potencial de manutenção, o que é ideal para aplicações em diferentes ambientes e com diferentes necessidades de separação.

Dessa forma, um esquema elétrico foi elaborado no *Tinkercad*, apresentando a conexão dos sensores, atuadores e o microcontrolador Arduino Uno R3 (Figura 4).

Figura 4 – Esquema elétrico do sistema



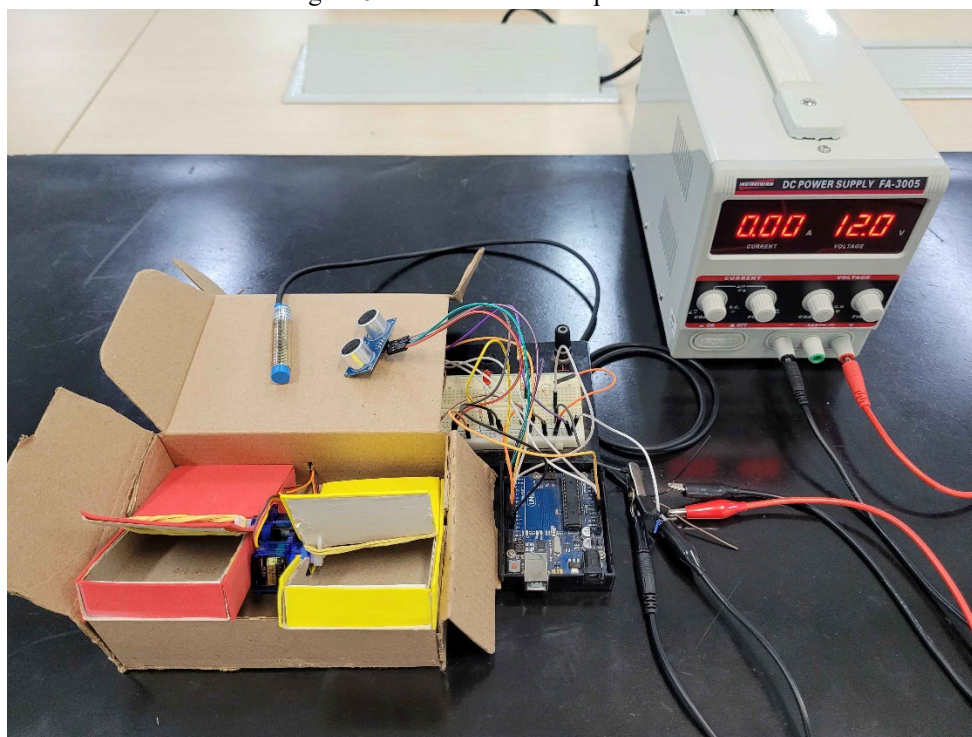
Fonte: Próprios autores.

Nos testes, o funcionamento do sistema teve foco na leitura dos sensores posicionados lado a lado, na seguinte ordem: sensor indutivo para metais, sensor capacitivo para vidro, sensor capacitivo para

papel e sensor ultrassônico para plásticos. A leitura foi projetada para ocorrer da esquerda para a direita, de forma que o sensor ultrassônico só receba um sinal se nenhum dos sensores anteriores estiver em estado positivo (*high*). Esse controle evita a ativação incorreta da lixeira para plásticos, garantindo que cada tipo de resíduo seja direcionado ao compartimento adequado. Os sensores capacitivos foram ajustados conforme a distância sensora necessária, prevenindo a detecção incorreta de materiais, como vidro sendo detectado quando deveria ser papel.

Dessa maneira, os testes demonstraram que a configuração do sistema, juntamente com os ajustes realizados, assegura um controle na separação automatizada dos resíduos. A seguir na Figura 5, pode-se visualizar o sistema montado, contando com os sensores indutivo e ultrassônico.

Figura 5 – Sistema montado para testes



Fonte: Próprios autores.

## CONCLUSÕES:

Os resultados da pesquisa mostraram que o sistema *SmartSort* pode contribuir para a separação automatizada de resíduos, promovendo uma abordagem sistemática para a gestão de materiais recicláveis. Os testes realizados indicaram que os sensores implementados permitem uma identificação coerente dos tipos de resíduos e uma alocação direcionada aos compartimentos



apropriados. O uso de tecnologias acessíveis, como o Arduino, proporcionou um protótipo modular com flexibilidade para adaptações em diferentes contextos.

Como desdobramentos potenciais, este trabalho pode ser ampliado com o uso de outras tecnologias, como o Raspberry Pi para processamento de imagem, permitindo que uma inteligência artificial treinada identifique e realize a separação automática dos resíduos com maior precisão conforme o estudo de Thibuy, Thokrairak e Jitngernmadan (2020). Além disso, estudos futuros podem explorar ajustes para diferentes demandas em ambientes específicos, como em restaurantes para separação de lixo orgânico, utilizando sensores específicos que possibilitem a identificação. A possibilidade de integração com iniciativas educacionais também pode ser avaliada para fomentar práticas de conscientização ambiental.

#### REFERÊNCIAS:

ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em 23 abr. 2023.

NUNES, Alexandre Magno da Silva. **Projeto LISA: Lixeira Inteligente Seletiva Automática**. 2018.

SOUSA, Paulo Victor; COSTA, Marcelo. Protótipo de lixeira inteligente no contexto das Smart Cities e da Internet das Coisas. **Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD)**, 2019.

THIBUY, Kittiya; THOKRAIRAK, Sorawit; JITNGERNMADAN, Prajaks. Holistic solution design and implementation for smart city recycle waste management case study: Saensuk city. In: **2020-5th International Conference on Information Technology (InCIT)**. IEEE, 2020. p. 233-237.