



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Informática

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA
INTEGRADO COMPOSTO POR
APLICAÇÃO MÓVEL E PLATAFORMA
WEB PARA A LOCALIZAÇÃO E GESTÃO
DO TRANSPORTE ESCOLAR EM
MAPUTO**

Autor: Sumeid Ibraimo Chamussidine

Maputo, 03 de Novembro



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em
Informática

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA
INTEGRADO COMPOSTO POR
APLICAÇÃO MÓVEL E PLATAFORMA
WEB PARA A LOCALIZAÇÃO E GESTÃO
DO TRANSPORTE ESCOLAR EM MAPUTO**

Autor: Sumeid Ibraimo Chamussidine

Supervisor: Professor Doutor, Orlando Zacarias, UEM

Co-supervisor(es): Engenheiro, Manuel dos Santos, UEM

Maputo, 03 de Novembro de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho a mim mesmo, pelo esforço, disciplina e determinação que me permitiram alcançar este objectivo.

*Dedico, igualmente, aos meus pais, **Ibraimo Aly Chamussidine** e **Nurza Aly Bacar Somar**, pelo amor, dedicação e sacrifícios que me proporcionaram condições para alcançar este marco na minha vida.*

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que o presente Trabalho de Licenciatura é resultado da minha investigação e que o processo foi concebido para ser submetido apenas para a obtenção do grau de Licenciado em Informática na faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, 03 de Novembro de 2025

Sumeid Ibraimo Chamussidine

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, à Universidade Eduardo Mondlane, em especial à Faculdade de Ciências e ao Departamento de Matemática e Informática, por proporcionarem um ambiente académico de excelência, que estimulou o rigor científico, o pensamento crítico e o desenvolvimento das capacidades que tornaram possível a realização desta etapa.

Este trabalho é fruto de um percurso marcado por dedicação, disciplina e perseverança. Não foi apenas um desafio académico, mas também um processo de crescimento pessoal e profissional.

Agradeço igualmente a mim mesmo, pela determinação em nunca desistir, pelas noites em claro, pelos prazeres momentâneos sacrificados em nome de um objectivo maior, pela resiliência perante os obstáculos e pela coragem de acreditar que seria possível concluir esta etapa em tempo recorde, dentro dos quatro anos estabelecidos. Foram anos de abdicar de horas de sono para cumprir prazos, de enfrentar madrugadas intensas entre livros, pesquisas e códigos, e de suportar o cansaço físico e mental durante as aulas após longas noites de estudo. Muitas vezes, enquanto outros descansavam, eu mantinha o foco, consciente de que cada esforço era um passo essencial para a concretização deste objectivo.

Este esforço não se resume apenas ao resultado final desta monografia, mas simboliza todas as renúncias assumidas ao longo do curso — as manhãs iniciadas ainda cansado da noite anterior, os finais de semana trocados por estudos, momentos de lazer adiados e oportunidades sociais deixadas para trás em prol de uma meta maior. Cada sacrifício foi uma escolha consciente, cada obstáculo superado uma prova de disciplina, e cada conquista parcial um combustível para seguir em frente até ao fim.

Expresso, igualmente, a minha sincera gratidão ao meu **supervisor, Orlando Zacarias**, pelo suporte, pelas orientações e pelo acompanhamento constante ao longo desta caminhada. A sua paciência, experiência e dedicação foram fundamentais para que eu pudesse desenvolver este trabalho com rigor e confiança. Mais do que um supervisor, foi uma fonte de inspiração, incentivando-me a superar desafios, a pensar criticamente e a aperfeiçoar cada detalhe do meu trabalho.

Agradeço, também, ao meu **co-supervisor, Manuel dos Santos**, pela colaboração, conselhos e contributos valiosos ao longo deste processo. A sua orientação complementar permitiu enriquecer a qualidade do trabalho, auxiliando-me a resolver questões técnicas e a refinar os aspectos metodológicos da pesquisa. De igual modo, fica aqui registado o meu reconhecimento à minha prima, Shanykwa da Salma Malauene, cuja colaboração se revelou particularmente relevante em fases decisivas do desenvolvimento deste trabalho, contribuindo de forma significativa para a concretização dos objectivos propostos.

Resumo

O transporte escolar constitui um dos meios mais seguros para a mobilidade dos alunos. Em Maputo, muitas instituições escolares recorrem a este serviço. Contudo, o mesmo enfrenta diversos desafios que comprometem a sua eficiência e segurança. Este estudo propõe soluções computacionais para melhorar o modelo de transporte escolar. Para tal, foi concebido um sistema comportando uma aplicação móvel para a localização de carrinhas escolares e uma plataforma *web* destinada à gestão do serviço pelas escolas. O sistema inclui entidades como motoristas, encarregados/alunos e administração escolar. Foram integrados o modelo gerado pela técnica de *Random Forests*, usando dados históricos da previsão do tempo de viagem e um outro resultante da aplicação do método de Google *OR-Tools*, para a optimização das rotas das carrinhas escolares, tendo em vista a redução de custos operacionais e melhorar a eficiência do serviço. A pesquisa tem um carácter qualitativo onde a recolha de dados foi efectuada através da análise documental e também por via de entrevistas semiestruturadas, que permitiram compreender o modelo actual de gestão do transporte escolar. Também foi feita observação directa, que proporcionou uma percepção mais rica e contextualizada do ambiente em estudo. Na implementação técnica da plataforma *web* e da aplicação móvel, utilizou-se o *React Native*, dada a sua flexibilidade e adequação ao desenvolvimento multiplataforma. A pesquisa mostrou que o modelo actual de transporte escolar apresenta ineficiências que comprometem a segurança, a fiabilidade e a qualidade do serviço. Estes problemas impactam directamente a rotina e o bem-estar dos alunos, além de gerarem constantes preocupações aos encarregados de educação. Os resultados obtidos demonstram que o modelo proposto pode contribuir para uma gestão mais eficiente e transparente do transporte escolar, permitindo o acompanhamento em tempo real das viaturas, a redução dos atrasos e a melhoria da comunicação entre a escola e os encarregados de educação. A integração dos algoritmos de Inteligência Artificial revelou-se eficaz na previsão do tempo de viagem e na optimização das rotas, evidenciando o potencial das soluções tecnológicas na modernização e segurança do transporte escolar em Maputo.

Palavras-Chave: Inteligência Artificial, Rotas de Transporte, Transporte Escolar, Rastreamento em Tempo Real, GPS, Aprendizagem de Máquina, Sistema de informação

Abstract

School transportation is one of the safest means for student mobility. In Maputo, many educational institutions rely on this service. However, it faces various challenges that compromise its efficiency and safety. This study proposes computational solutions to improve the school transportation model. To this end, a system was designed consisting of a mobile application for locating school vans and a web platform intended for service management by schools. The system includes entities such as drivers, guardians/students and school administration. The model generated by the Random Forests technique using historical data for travel time prediction, as well as another resulting from the application of the Google OR-Tools method for route optimization of school vans, were integrated with the aim of reducing operational costs and improving service efficiency. The research has a qualitative nature, in which data collection was carried out through document analysis and also through semi-structured interviews, which made it possible to understand the current school transportation management model. Direct observation was also conducted, providing a richer and more contextualized perception of the study environment. In the technical implementation of the web platform and the mobile application, React Native was used due to its flexibility and suitability for cross-platform development. The research showed that the current school transportation model presents inefficiencies that compromise the safety, reliability, and quality of the service. These problems directly impact the routine and well-being of students, in addition to generating constant concerns for parents and guardians. The results obtained demonstrate that the proposed model can contribute to more efficient and transparent school transportation management, enabling real-time vehicle tracking, reducing delays, and improving communication between the school and parents or guardians. The integration of Artificial Intelligence algorithms proved effective in predicting travel time and optimizing routes, highlighting the potential of technological solutions in the modernization and safety of school transportation in Maputo.

Keywords: Artificial Intelligence; Transport Routes; School Transport; Real-Time Tracking; GPS; Machine Learning; Information System.

Abreviaturas

API – Interface de Programação de Aplicações (*Application Programming Interface*).

AWS Educate – Plataforma Educativa da Amazon para formação em computação na nuvem (*Amazon Web Services Educate*).

CASE – Engenharia de *Software* Assistida por Computador (*Computer-Aided Software Engineering*).

ETA – Tempo Estimado de Chegada (*Estimated Time of Arrival*).

ESP32 – Microcontrolador com Wi-Fi e Bluetooth integrados, utilizado em projectos de IoT (*Embedded System Platform 32*).

GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*).

GPRS – Serviço Geral de Pacotes por Rádio (*General Packet Radio Service*).

IA – Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence*).

IOT – Internet das Coisas (*Internet of Things*).

LCD – Ecrã de Cristal Líquido (*Liquid Crystal Display*).

MIC – Maputo *International College*.

PLN – Processamento de Linguagem Natural (*Natural Language Processing*).

RF – Requisitos Funcionais.

RFID – Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification*).

RNF – Requisitos Não Funcionais.

RNNs – Redes Neurais Recorrentes (*Recurrent Neural Networks*).

RTC – Relógio em Tempo Real (*Real Time Clock*).

SIG – Sistemas de Informação Geográfica (*Geographic Information Systems*).

SMS – Serviço de Mensagens Curtas (*Short Message Service*).

MAE — Erro Absoluto Médio (*Mean Absolute Error*).

RMSE — Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error*)

Glossário de Termos

Acompanhante escolar – Pessoa responsável por supervisionar os alunos durante o trajeto, garantindo segurança e apoio.

Aplicação móvel (App) – Programa desenvolvido para uso em dispositivos móveis (como *smartphones* e *tablets*).

Carrinha escolar – Veículo utilizado para transportar estudantes de forma regular.

Centralização da informação – Organização dos dados num sistema único, acessível e actualizado.

ETA (Estimativa do Tempo de Chegada) - Cálculo previsto do tempo necessário para que um veículo chegue ao seu destino.

Frota escolar – Conjunto de viaturas utilizadas por uma instituição de ensino ou empresa para o transporte de estudantes.

Modelo conceptual – Representação teórica ou esquemática de um sistema, mostrando seus principais componentes e relações.

Motorista escolar – Profissional responsável pela condução da viatura e cumprimento das rotas estabelecidas.

Optimização de rotas - Processo de planeamento e ajuste de percursos com o objectivo de reduzir o tempo de viagem, o consumo de combustível e os custos operacionais.

Overfitting (Sobre ajuste): ocorre quando um modelo de IA aprende demais os dados de treino, incluindo ruídos (detalhes irrelevantes), e perde a capacidade de generalizar para novos dados.

Plataforma digital – Sistema online que integra informações e funcionalidades voltadas para gestão e comunicação.

Protótipo funcional – Versão inicial de um sistema que demonstra suas principais funções operacionais.

Rota escolar – Percurso fixo seguido por uma carrinha escolar para recolher e deixar alunos.

Rastreo em tempo real – Tecnologia que permite acompanhar a posição de um veículo ou pessoa em tempo real, por intermédio de GPS e Internet.

Transporte escolar – Serviço destinado ao deslocamento diário de alunos entre suas residências e as instituições de ensino.

Índice

Dedicatória.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Abreviaturas.....	vi
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xii
Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Definição do Problema.....	3
1.3 Impacto do Estudo.....	6
1.4 Objectivos.....	7
1.4.1 Objectivo Geral.....	7
1.4.2 Objectivo Específicos.....	7
1.5 Estrutura do Relatório.....	8
Revisão de Literatura.....	9
2.1 Sistema de Informação.....	9
2.2.1 Sistema de Transporte Escolar em Moçambique.....	10
2.2.2 Rotas de Transporte.....	11
2.2.3 Optimização de Rota.....	11
2.3 Sistemas de Posicionamento Global.....	11
2.4 Sistemas de Informação Geográfica.....	11
2.5 Inteligência Artificial.....	12
2.5.1 <i>Machine Learning</i>	12

2.6 Tipos de Aprendizado de Máquina	14
2.6.1 Aprendizado Supervisionado.....	14
2.7 Aplicações Móveis	15
2.7.1 Notificações <i>Push</i>	15
2.8 <i>Web</i> Plataforma.....	16
2.8.1 API (<i>Interface</i> de Programação de Aplicação).....	16
2.8.2 Google <i>Maps</i> API	16
2.8.3 Rastreo em tempo real	16
2.8.4 Estimativa do tempo de Chegada	17
2.9 Estudos Relacionados.....	17
Material e Métodos	24
3.1 Metodologia de Pesquisa.....	24
3.1.1 Abordagem de Investigação.....	24
3.1.3 Papel do Investigador	25
3.2 Técnica de recolha de dados.....	26
3.2.1 Análise Documental.....	26
3.2.2 Entrevista Semiestruturada	27
3.2.3 Observação Participativa	27
3.2.4 Amostra.....	28
3.2.5 Instrumentos de Recolha de Dados	30
3.2.6 Procedimento de Registo de Dados	33
3.2.7 Estratégia de Análise de Dados.....	34
3.3 Metodologia de Desenvolvimento.....	35
3.3.1 Ferramentas de Apoio (CASE)	35
3.3.2 Desenvolvimento da Aplicação.....	36
3.3.3 Integração com Inteligência Artificial	36
3.3.4 Controlo de Versões e Repositório de Código	37
Resultados	38

4.1	Descrição do Modelo Actual.....	38
4.1.1	Processo de Gestão do Transporte Escolar na Aga Khan <i>Academy</i> Maputo.....	38
4.1.2	Processo de Gestão do Transporte Escolar na Maputo <i>International College</i>	40
4.2	Descrição do Modelo Proposto.....	42
	Arquitectura do Modelo Proposto	44
4.2.1	Descrição da Arquitectura do Sistema	44
4.2.2	Testes de Validação do Sistema.....	46
4.3	Requisitos do Modelo Proposto.....	51
4.3.1	Requisitos Funcionais	51
4.3.2	Requisitos Não Funcionais	52
4.4	Diagramas	53
	Conclusão e Recomendações	62
	Referências	64
	Apêndices.....	68
	Apêndice 1:.....	68
	Apêndice 2:.....	68
	Apêndice 3:.....	69
	Apêndice 4:.....	70
	Apêndice 5:.....	71

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama do sistema de transporte escolar inteligente. Fonte: Gadade, Mulani, & Harale, 2024.....	18
Figura 2: Diagrama de desenvolvimento do projeto. Fonte : Gadade, Mulani, & Harale, 2024.	18
Figura 3: Sistema RFID Passivo. Fonte: Shaaban et al. (2013).	19
Figura 4: Arquitectura do Sistema. Fonte: Shaaban et al. ,2013.	19
Figura 5:Arquitectura do modelo actual.	40
Figura 6: Arquitectura actual.	42
Figura 7: Arquitectura do modelo proposto.	44
Figura 8: Diagrama de caso de uso.....	55
Figura 9: Diagrama de classe.	56
Figura 10: Diagrama de estado recolher aluno.	56
Figura 11: Diagrama de estado embarcar aluno.	57
Figura 12: Diagrama de estado do veiculo.	57
Figura 13: Diagrama de estado mensagem.	58
Figura 14: Diagrama de estado rota.	58
Figura 15: Diagrama de estado comunicação.	59
Figura 16: Diagrama de sequência ETA e Optimização de rota.	59
Figura 17: Diagrama de sequência incidente.	60
Figura 18: Diagrama de sequência localização.....	60
Figura 19: Diagrama de sequência presença.....	61

Lista de Tabelas

Tabela 1: Desempenho do modelo	50
Tabela 2: Requisitos funcionais.....	52
Tabela 3: Requisitos não funcionais	52

Introdução

Neste capítulo apresentam-se a contextualização do tema, a definição do problema e os objectivos da pesquisa.

1.1. Contextualização

O transporte escolar é um serviço essencial que garante a mobilidade diária de milhares de alunos em todo o mundo, assegurando-lhes o acesso à educação de forma segura e regular. Este serviço é considerado um instrumento fundamental para a inclusão social, pois possibilita que alunos residentes em zonas distantes ou com reduzida oferta de transporte público tenham igualdade de oportunidades no acesso à escola (Pereira, Cordeiro & Nascimento, 2024).

Ao longo do tempo, este sistema tem enfrentado inúmeros obstáculos, entre os quais se destacam a gestão ineficaz das rotas, a falta de mecanismos de monitoria em tempo real, a insegurança durante o transporte, a falta de previsibilidade dos horários de saída das escolas e de chegada das carrinhas às residências dos alunos bem como a preocupação constante dos encarregados de educação relativamente à fiabilidade do serviço. Segundo Nhanala (Folha de Maputo, 2016), presidente da Associação dos Transportadores Escolares, a falta de rotas definidas e as longas distâncias percorridas obrigam os motoristas a adoptarem práticas de condução de risco, como galgar passeios ou acelerar excessivamente para cumprir horários, evidenciando ainda mais as fragilidades do sistema. O mesmo autor salienta o facto de alguns transportadores carregarem nas suas viaturas caixas de som abertas ao mais alto volume, causando desconforto às crianças transportadas e outros transeuntes.

Importa salientar que estas fragilidades não ocorrem de forma isolada no sector escolar. Pelo contrário, reflectem problemas estruturais mais amplos do sistema de mobilidade urbana, que condicionam directamente as condições de operação das frotas escolares. Em países em desenvolvimento, como Moçambique, estas dificuldades tornam-se ainda mais evidentes devido a precariedade da infra-estrutura de transporte público e a carência de soluções tecnológicas aplicadas ao sector.

Neste sentido, Matos (Chirindza, 2022), presidente da Agência Metropolitana de Transportes de Maputo (AMT), afirma que o sistema de transporte público na área metropolitana é ainda “deficiente”, resultado de diversos factores estruturais e operacionais que impedem o alcance das metas de mobilidade previstas. O mesmo autor afirma que a cobertura do sistema de transporte colectivo atinge menos de 55% da região, revelando limitações significativas no acesso ao transporte, sobretudo em zonas periféricas e de difícil acesso.

Em Maputo, observa-se que algumas instituições de ensino, sobretudo no sector privado, fornecem o serviço de transporte escolar através de viaturas próprias ou por meio da contratação de serviços terceirizados. Esta constatação resulta da observação directa e do levantamento efectuado no âmbito do presente estudo, o qual identificou seis escolas que oferecem algum tipo de transporte escolar, com modelos de gestão distintos. Apesar de constituírem um meio indispensável para a deslocação de alunos, estas frotas funcionam dentro de um modelo de gestão que apresenta fragilidades como as acima mencionadas, comprometendo não apenas a eficiência do serviço, mas também o bem-estar e a tranquilidade dos alunos transportados.

Os alunos, enquanto principais beneficiários do transporte escolar, são directamente afectados pelas limitações do sistema actualmente em vigor. Paralelamente, as instituições de ensino e os encarregados de educação assumem o papel de responsáveis pela organização e acompanhamento do serviço, partilhando igualmente preocupações quanto à necessidade de um modelo mais moderno, transparente e fiável. Para compreender de forma mais concreta como estas fragilidades se manifestam na prática, recorreu-se à análise de duas instituições de ensino em Maputo, cujos modelos de transporte escolar reflectem, em escalas distintas, os desafios estruturais anteriormente descritos.

Na Instituição Maputo *International College*, observa-se uma forte dependência de procedimentos manuais e informais, particularmente no registo de presenças, na comunicação entre encarregados, acompanhantes e motoristas, e na gestão das rotas. A inexistência de dispositivos de monitorização, como GPS, impede o acompanhamento em tempo real das viaturas, dificultando a resposta a atrasos, avarias ou emergências. Esta limitação tecnológica contribui para um serviço vulnerável a erros humanos, atrasos recorrentes e insegurança operacional, agravada pela ausência de registos formais que permitam controlo ou auditoria das viagens realizadas.

Por outro lado, a Instituição *Aga Khan Academy* Maputo, apesar de contar com um sistema básico de localização por GPS, apresenta fragilidades relevantes. O sistema actualmente utilizado fornece apenas a localização, não permitindo estimar com precisão os tempos de chegada nem registar ocorrências importantes durante o trajecto. A comunicação entre escola, encarregados e motoristas é lenta e indirecta, sendo realizada principalmente por intermédio de grupos informais de WhatsApp, o que provoca atrasos

na transmissão de informações e gera ansiedade nos encarregados, especialmente em situações imprevistas. A inexistência de um mecanismo estruturado de notificações automáticas, capaz de alertar sobre recolhas, presenças, aproximação das viaturas ou eventuais emergências, acentua estas limitações, dificultando uma comunicação rápida entre todos os intervenientes. Paralelamente, existe a ausência de centralização dos dados. Perante esse cenário, verifica-se a necessidade de soluções adaptadas à realidade local, capazes de considerar as especificidades das rotas urbanas, a infra-estrutura de comunicação existente e a integração da administração escolar e das frotas de carrinhas escolares.

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma solução tecnológica para o rastreio contínuo e gestão das viaturas escolares em Maputo. A plataforma visa melhorar a comunicação entre todos os intervenientes e integra a Inteligência Artificial com o objectivo de otimizar os percursos, reduzir atrasos e diminuir os custos operacionais. Do ponto de vista académico, este trabalho enquadra-se na área das Tecnologias de Informação, com ênfase nas aplicações de Inteligência Artificial e sistemas de informação geográfica (SIG). A nível de aplicação, situa-se no sector de Educação e Transporte.

1.2. Definição do Problema

Em Maputo, o sistema de transporte escolar apresenta diversos problemas operacionais e organizacionais que afectam os alunos, escolas e famílias. Estas limitações manifestam-se tanto na gestão interna das instituições como na experiência diária dos utilizadores, tornando evidente a necessidade de soluções mais modernas e eficazes.

Do ponto de vista das escolas envolvidas nesta pesquisa, destacam-se diversos problemas.

Para a apresentação destes problemas, descrevemos primeiramente as características comuns e, em seguida, as específicas.

Problemas comuns

- **Ausência de registos fiáveis:** Esta situação limita de forma significativa a capacidade de avaliar a pontualidade, utilização da frota e desempenho dos motoristas e acompanhantes, resultando numa gestão sem indicadores objectivos e sem histórico. Como consequência, torna-se difícil determinar se as rotas foram cumpridas dentro do tempo previsto, identificar atrasos recorrentes ou confirmar a sequência e execução das paragens. A inexistência de métricas impede igualmente a avaliação do desempenho operacional, uma vez que não há documentação consistente sobre incidentes ou falhas. Embora existam registos em papel, estes são frequentemente extraviados, incompletos ou de difícil leitura (dado que contem informação manualmente escrita), criando lacunas na disponibilidade e no acesso a informação necessária para uma supervisão eficaz.

Problemas específicos

- **Ausência de transparência e monitorização em tempo real:** A transparência e o acompanhamento em tempo real do transporte escolar apresentam realidades distintas entre as instituições de caso de estudo. Na instituição MIC, não existe qualquer sistema, o que impede a escola de acompanhar a movimentação e localização das carrinhas escolares, verificar o cumprimento das rotas e confirmar os horários de partida e chegada, tornando o serviço dependente de comunicação verbal e pouco fiável. Esta limitação gera desconhecimento operacional durante o percurso e impossibilita a validação objectiva dos horários e paragens. Em caso de reclamações dos encarregados, não existem dados para confirmar ou refutar situações reportadas, o que fragiliza a credibilidade institucional. A nível operacional, a supervisão torna-se opaca, com decisões baseadas em percepções e não em evidências.

Na Aga Khan *Academy* Maputo, apesar da existência de um sistema de localização por GPS, a escola enfrenta limitações significativas no acompanhamento das carrinhas. O sistema fornece apenas a posição pontual da viatura, sem permitir visualizar o histórico de percursos, o que impossibilita a verificação objectiva do cumprimento das rotas planeadas. Além disso, qualquer informação adicional sobre alterações no trajecto ou ocorrências imprevistas depende de comunicação manual por chamadas ou WhatsApp, mantendo a escola parcialmente desinformada e reduzindo a eficácia da supervisão operacional e da prestação de contas.

- **Problemas de comunicação:** O sistema de comunicação actualmente adoptado nas instituições apresenta duas vertentes complementares, ambas com limitações significativas. O primeiro fluxo de comunicação indirecto identificado na Aga Khan *Academy*, envolve a passagem de informação entre encarregados de educação, escola, motorista e acompanhante, gerando atrasos frequentes na obtenção e redistribuição de dados. Sempre que surgem atrasos, alterações de rota ou incidentes, a necessidade de retransmitir a mensagem por múltiplos intervenientes faz com que os encarregados recebam actualizações tarde demais, aumentando a ansiedade. A utilização de um grupo de WhatsApp como canal principal agrava o problema, pois as mensagens misturam-se num volume elevado de comunicações, sem qualquer garantia de que todos os destinatários visualizem a informação crucial a tempo. Este modelo sobrecarrega a escola, que funciona como intermediária permanente, respondendo a múltiplas solicitações simultâneas, diminuindo a sua capacidade de fornecer respostas rápidas e precisas. Em situações de emergência, a circulação

lenta e fragmentada da informação compromete o tempo de reacção e aumenta o risco percebido pelos encarregados. O segundo fluxo, directo, foi observado na MIC, que ocorre quando os encarregados contactam directamente o motorista ou acompanhante em casos como ausência do aluno ou emergências durante o percurso. Apesar de aparentar maior rapidez, este modelo apresenta fragilidades significativas: cada incidente é tratado de forma isolada, sem registo formal, aumentando o risco de informações dispersas ou contraditórias. Além disso, cria dependência excessiva da disponibilidade e atenção do motorista ou acompanhante, tornando o serviço vulnerável a erros humanos e falhas de comunicação. A inexistência de um canal estruturado impede auditar e rastrear as ocorrências, dificultando verificações futuras ou esclarecimentos formais.

- **Registo de presenças pouco fiável:** O registo de presenças nas viaturas escolares apresenta práticas distintas nas instituições observadas, ambas com consequências relevantes. Na *Aga Khan Academy* Maputo por exemplo, a marcação da entrada e saída dos alunos é realizada através de folhas impressas de Excel. Apesar de serem um método formal, estas folhas podem perder-se, ser mal preenchidas ou atrasar verificações importantes, dificultando uma resposta rápida a emergências. A escola não consegue acompanhar em tempo real quais alunos utilizaram efectivamente o transporte nem validar ocorrências reportadas no momento, nem integrar os dados em bases digitais para análises históricas, como a avaliação da carga média de alunos por viatura.

Na Instituição MIC, o registo de presenças é feito de forma totalmente informal, baseado apenas na memória do motorista, sem recurso a qualquer registo escrito ou digital. Esta prática aumenta significativamente o risco de erros, esquecimentos ou informações incorrectas sobre quais alunos foram recolhidos, quais faltaram ou se houve alterações de última hora comunicadas tardiamente ao motorista. Em situações críticas, como acidentes ou incidentes com alunos, a ausência de um registo formal impede a escola de verificar imediatamente a presença ou localização da criança, elevando o risco de falhas graves, incluindo a possibilidade de um aluno ser esquecido na rota.

Em relação às considerações dos pais e alunos, estes dois grupos evidenciam outros problemas igualmente relevantes, os quais podem ser também classificados entre comuns e específicos para cada instituição analisada.

Problemas comuns

- Em ambas instituições, quando uma criança não comparece à escola, muitas vezes a informação não chega a tempo ao motorista ou ao acompanhante escolar. Esta falha de comunicação provoca paragens desnecessárias, desperdício de combustível e atrasos para os restantes alunos.

Além disso, há casos em que os pais decidem recolher os filhos antes do horário previsto sem informar previamente a escola ou a carrinha. Nestas situações, a viatura continua à espera do aluno que, na prática, não será transportado, atrasando a saída e a devolução dos restantes alunos às suas casas. Este cenário gera confusão e aumenta o número de contactos por parte de outros encarregados que tentam obter esclarecimentos sobre o motivo da demora.

Problemas específicos

- **Falta de previsibilidade:** A ausência de informação sobre a localização da carrinha escolar gera incerteza significativa para pais e alunos. Em muitas famílias, os encarregados não sabem exactamente onde se encontra a viatura nem a que horas chegará, o que obriga a preparar as crianças cedo e a aguardar por longos períodos na rua. Na Instituição MIC, onde os pais não dispõem de qualquer aplicação de localização, a incerteza é total. A família depende de ligações telefónicas ou mensagens via escola, o que muitas vezes atrasa a recepção da informação. Este tempo de espera prolongado aumenta a ansiedade, compromete a rotina familiar e, em zonas com segurança limitada, expõe os alunos a riscos como assaltos ou tentativas de rapto.

Na *Aga Khan Academy* Maputo, onde os pais têm acesso a uma aplicação de localização da carrinha, a previsibilidade é limitada. A aplicação apenas fornece a posição actual da viatura, sem indicar o trajecto a ser seguido pelo motorista, nem estimativa de tempo de chegada (ETA), e não envia notificações sobre eventos relevantes, como atrasos, desvios de rota ou emergências. Consequentemente, mesmo com a aplicação, os encarregados não têm visibilidade completa sobre o percurso ou os problemas que possam surgir, mantendo um grau de ansiedade e incerteza.

Perante esses constrangimentos, torna-se evidente a necessidade de uma solução tecnológica que centralize a informação, permita monitorização em tempo real, melhore a comunicação entre todos os intervenientes e proporcione maior previsibilidade e eficiência ao transporte. Deste modo, pode colocar-se a seguinte questão de pesquisa: Como pode uma solução tecnológica contribuir para a melhoria da gestão e monitoria do transporte escolar em Maputo, garantindo maior eficiência, controlo, segurança e comunicação entre os intervenientes?

1.3 Impacto do Estudo

A implementação da solução proposta prevê impactos significativos em diferentes dimensões.

Do ponto de vista económico, a optimização das rotas e a redução de paragens desnecessárias contribuem para diminuir o consumo de combustível e reduzir os custos operacionais das escolas. A digitalização dos processos elimina a dependência de folhas impressas, reduzindo gastos com papel, impressão e

armazenamento físico. Com dados precisos sobre a utilização da frota, tempos de viagem e desempenho diário, as escolas conseguem planejar melhor os recursos, identificar desperdícios e tomar decisões financeiras mais estratégicas.

No âmbito operacional, o sistema oferece ganhos substanciais de controlo e transparência. O acompanhamento em tempo real, o histórico de percursos, os registos de presença e a rastreabilidade das ocorrências fortalecem a supervisão das escolas, permitindo decisões baseadas em dados. Estas funcionalidades reduzem erros humanos, eliminam falhas de comunicação e dão às instituições maior capacidade de prestação de contas perante encarregados e gestores.

No domínio social, a solução contribui para aumentar a segurança, a previsibilidade e a confiança das famílias. O acesso à localização da carrinha, a redução dos tempos de espera, a diminuição de incertezas e a comunicação estruturada permitem aos encarregados acompanhar de forma mais tranquila o transporte dos seus filhos, diminuindo a ansiedade e reforçando o vínculo de confiança entre escola e comunidade. Para os alunos, isto traduz-se em maior pontualidade, menor exposição a riscos e uma experiência de transporte mais organizada. Por fim, no domínio tecnológico, o projecto incentiva a modernização das práticas educacionais em Moçambique ao introduzir ferramentas digitais e inteligência artificial na gestão do transporte escolar. Para além disso, o estudo estimula o desenvolvimento de soluções locais inovadoras voltadas à mobilidade e à educação.

1.4 Objectivos

O conjunto de objectivos desta pesquisa divide-se em objectivo geral e objectivos específicos, a seguir apresentados.

1.4.1 Objectivo Geral

Desenvolver um Sistema Integrado composto por Aplicação Móvel e Plataforma *Web* para a Localização e Gestão do Transporte Escolar em Maputo

1.4.2 Objectivo Específicos

- Analisar o funcionamento actual do transporte escolar em Maputo;
- Mapear os processos operacionais nas instituições de caso de estudo;
- Descrever o modelo actual e estruturar os novos fluxos de processos (modelo conceptual) para o novo sistema;
- Elaborar um protótipo funcional do sistema de transporte escolar;
- Testar o protótipo;

1.5 Estrutura do Relatório

O trabalho encontra-se dividido em cinco (5) capítulos, nomeadamente: Introdução, Revisão de Literatura, Material e Métodos, Resultados, Conclusões e Recomendações.

- **Capítulo 1 – Introdução:** Apresenta a contextualização do tema, expõe o problema que motivou a investigação, define os objectivos a alcançar e descreve a organização do trabalho.
- **Capítulo 2 – Revisão da Literatura:** Reúne os principais conceitos e fundamentos teóricos relacionados com o tema, sustentados pelas referências bibliográficas consultadas para a elaboração do estudo.
- **Capítulo 3 – Material e Métodos:** Descreve os procedimentos adoptados, bem como as técnicas e ferramentas utilizadas na realização da investigação, em função dos objectivos estabelecidos.
- **Capítulo 4 – Resultados:** Analisa e caracteriza o sistema actualmente em uso, de forma a evidenciar os problemas e limitações que se pretende superar e também apresenta a solução desenvolvida, fundamentada nos constrangimentos identificados no sistema vigente.
- **Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações:** sintetiza os principais resultados alcançados e sugere recomendações ou linhas de continuidade para trabalhos futuros.

Revisão de Literatura

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura com o objectivo de contextualizar teoricamente os principais conceitos e abordagens que fundamentam esta pesquisa, além de evidenciar lacunas que a presente investigação pretende explorar.

Segundo Denney et al. (2012) a revisão de literatura relaciona um estudo ao diálogo corrente mais amplo na literatura sobre um tópico, preenchendo lacunas e ampliando estudos anteriores.

2.1 Sistema de Informação

SI desempenham um papel fundamental dentro das organizações, pois permitem sistematizar informações com o objectivo de produzir dados fiáveis. Esses dados são essenciais para diagnosticar o desempenho organizacional e apoiar a tomada de decisão em diferentes níveis – operacional, administrativo e estratégico. As informações geradas e processadas por esses sistemas se tornam ferramentas estratégicas que orientam decisões importantes dentro da organização. De acordo com Boell et al. (2015), os SI permitem colectar, armazenar, recuperar e disseminar informações para fins específicos dentro da organização. Eles apoiam as funções em diversos níveis e contribuem significativamente para a eficácia das decisões organizacionais.

2.2 Transporte Escolar

O transporte escolar é uma política fundamental para garantir o acesso dos estudantes à educação, sobretudo para aqueles que vivem em áreas afastadas ou com dificuldades de locomoção. Ele não apenas facilita a presença regular dos alunos nas instituições de ensino, mas também contribui directamente para a inclusão social e a permanência escolar, sendo um elemento estratégico para a equidade no sistema educacional. Miranda (2020), refere que o transporte escolar é um serviço essencial que assegura o acesso dos estudantes à educação, principalmente aqueles que vivem em zonas rurais ou em condições de vulnerabilidade social. Ele é reconhecido como um direito e como um instrumento de inclusão cidadã.

2.2.1 Sistema de Transporte Escolar em Moçambique

Em Moçambique, o funcionamento do transporte escolar é regulado pelo decreto n.º 35/2019, o qual estabelece normas rigorosas com o objectivo de garantir a segurança, a acessibilidade e o bem-estar dos estudantes durante o percurso entre suas residências e os estabelecimentos de ensino.

Os veículos destinados ao transporte de estudantes devem ser, obrigatoriamente, da cor amarela e apresentar, em local visível, a identificação do proprietário ou da empresa responsável, incluindo o respectivo contacto e o número de licença ou alvará. Tais exigências visam facilitar a fiscalização e aumentar a transparência e a confiabilidade do serviço (Verdade, 2019).

No que diz respeito à segurança dos passageiros, é obrigatória a presença de pelo menos, um acompanhante adulto, denominado vigilante, cuja função principal é zelar pela segurança dos estudantes durante todo o trajecto. O regulamento prevê ainda que, quando o número de passageiros ultrapassar 30 estudantes ou quando se tratar de veículos com dois pisos, devem ser disponibilizados dois acompanhantes.

O Decreto também determina que as paragens para embarque e desembarque devem ocorrer em locais que não ofereçam riscos à integridade física dos estudantes. Além disso, não é permitido o transporte de volumes soltos ou mal-acondicionados no interior do veículo, a fim de evitar situações que possam comprometer a segurança dos passageiros.

Outro aspecto relevante refere-se à estrutura interna dos veículos. As portas devem ser operadas exclusivamente pelo vigilante ou por meio de um sistema de abertura controlado pelo condutor e inacessível às crianças. No que tange às janelas, estas devem ser inamovíveis ou possuir um mecanismo de travamento que limite a sua abertura a um terço do total, com excepção da janela do motorista.

Quanto à lotação, o regulamento estabelece que cada estudante deve ocupar um lugar sentado, sendo expressamente proibido que crianças com menos de 12 anos se sentem ao lado do motorista ou na primeira fila de assentos. A única excepção ocorre quando o veículo possuir separadores de protecção entre o condutor e os demais passageiros. Essas medidas demonstram o empenho do Estado moçambicano em oferecer um transporte escolar mais seguro, acessível e digno, como parte integrante das políticas de promoção do direito à educação e à protecção infantil (Verdade, 2019).

2.2.2 Rotas de Transporte

Rotas de transporte referem-se aos caminhos ou trajectos previamente planeados que automóveis ligeiros de passageiros, pesados ou carrinhas escolares, devem seguir para transportar pessoas ou mercadorias de maneira eficiente.

Conforme Rodrigues et al. (2019), rotas de transporte referem-se ao desenho eficiente de redes de autocarros, com o objectivo de atender à demanda dos utilizadores de forma otimizada. No caso do transporte escolar, esse processo envolve tanto a atribuição dos alunos aos pontos de embarque quanto a criação de trajectos ideais para recolher e transportar os estudantes até à escola, considerando restrições como a capacidade dos veículos e o tempo total de viagem.

2.2.3 Optimização de Rota

Na área de transportes, a optimização das rotas é fundamental para melhorar a eficiência das operações logísticas, buscando reduzir custos e tempo de deslocamento.

Ribeiro (2019) define a optimização de rotas como um processo que busca determinar a sequência mais eficiente de pontos a serem visitados, visando minimizar custos operacionais como distância percorrida e tempo, utilizando modelos matemáticos e algoritmos computacionais para solucionar problemas complexos de roteirização.

2.3 Sistemas de Posicionamento Global

O Sistema de Posicionamento Global é uma tecnologia amplamente utilizada para determinar com precisão a localização de pessoas, veículos e objectos em movimento. Através dessa tecnologia, é possível obter informações em tempo real sobre a posição geográfica, proporcionando maior segurança e controle sobre os trajectos realizados.

Para Manning (2023) GPS é uma tecnologia de navegação por rádio baseada em satélites, capaz de fornecer coordenadas tridimensionais com alta precisão e informações temporais em escala de nanossegundos, funcionando continuamente em qualquer parte do mundo. Sua estrutura é composta por satélites em órbita, estações de controle em terra e receptores utilizados pelos utilizadores.

2.4 Sistemas de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica são ferramentas essenciais para a análise e visualização de dados geograficamente referenciados. Eles permitem integrar informações relacionadas a uma localização específica na superfície terrestre, facilitando o processo de tomada de decisões em diversos campos, como planeamento urbano, transporte e gestão ambiental. A utilização de SIG oferece uma maneira eficiente de manipular dados geográficos, possibilitando insights valiosos e otimizando processos complexos.

Conforme Ershad (2020) argumenta que um SIG é composto por *software*, *hardware*, dados e pessoal especializado, que juntos viabilizam a entrada, manipulação, análise e apresentação de dados e informações associadas a uma localização geográfica específica. Esse sistema, portanto, integra diversos componentes tecnológicos para proporcionar uma gestão eficaz das informações espaciais.

2.5 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial é uma área das ciências de computação que permite aos computadores e máquinas simular processos humanos, como aprendizagem, compreensão, resolução de problemas, tomada de decisões, criatividade e autonomia. Esses sistemas são capazes de aprender com dados, adaptar-se a novas informações e realizar tarefas de forma autónoma, sem a intervenção directa do ser humano.

Stryker e Kavlakoglu (2024), destacam que a IA é fundamental para permitir que máquinas executem tarefas que, normalmente, exigiriam inteligência humana, como o reconhecimento de padrões, a tomada de decisões e a resolução de problemas complexos.

2.5.1 *Machine Learning*

A *Machine learning* usa um conjunto de dados que foram colectados no passado com o objectivo de entender os padrões existentes nos dados e também aproveitar as lacunas não exploradas nos conjuntos de dados existentes. Os padrões de dados analisados são então usados para criar um modelo que, posteriormente, é aplicado a novos dados para fornecer informações mais coerentes. Aprendizado de máquina é uma subcategoria da IA onde os programas de computador extraem dados a partir de um conjunto de dados de forma independente. O aprendizado de máquina é um conjunto de técnicas estatísticas que capacitam aplicações computacionais a se aprimorarem progressivamente, sem depender de instruções manuais rígidas (Sen, 2021)

Mohammed, Khan e Bashier (2017) destacam o aprendizado de máquina como um ramo da IA que permite que as máquinas realizem tarefas complexas por meio de algoritmos de aprendizado estatístico, com ênfase na análise e utilização de grandes volumes de dados, o que o conecta com outras disciplinas, como mineração de dados e reconhecimento de padrões.

Deep Learning

Deep Learning é uma subcategoria do *Machine Learning* onde os programas aprendem de forma dinâmica, ajustando suas acções com base na interacção e *feedback* contínuo para maximizar os resultados. O *Deep Learning* se destaca pela capacidade de aprender padrões complexos por meio de redes neurais profundas.

Para Holdsworth e Scapicchio (2024), o *Deep Learning* é um subconjunto do *Machine Learning* que utiliza redes neurais profundas para simular o poder de tomada de decisão complexa do cérebro humano. Os modelos de *Deep Learning* operam com centenas ou milhares de camadas para extrair características, reconhecer padrões e tomar decisões com base em dados brutos em tempo real.

Redes Neurais Profundas

Recurrent Neural Networks (RNNs) e suas Variantes

As *Recurrent Neural Networks (RNNs)* são redes neurais projectadas para trabalhar com dados sequenciais, como texto, fala e séries temporais. Diferente das redes tradicionais, as RNNs possuem conexões recorrentes, que permitem que informações anteriores sejam utilizadas para influenciar previsões futuras, tornando-as ideais para modelagem de dependências temporais.

De acordo com Holdsworth e Scapicchio (2024), as *Recurrent Neural Networks (RNNs)* são redes neurais voltadas para o processamento de dados sequenciais ou temporais, comumente aplicadas em tarefas como reconhecimento de fala, tradução automática, previsão de séries temporais e processamento de linguagem natural (PLN).

2.5.2 Algoritmos de Classificação

Classificação Binária

A classificação binária é uma abordagem fundamental em diversos sistemas de análise de dados, especialmente quando é necessário tomar decisões categóricas de forma rápida e precisa. Esse tipo de classificação permite que os modelos identifiquem com eficiência se uma determinada instância pertence ou não a uma categoria específica.

A classificação binária tem como objectivo classificar um determinado dado em uma de duas categorias possíveis. O modelo aprende padrões a partir dos dados para prever correctamente em qual dessas duas classes uma nova observação se encaixa. O modelo é treinado com um conjunto de dados rotulado, onde cada entrada já foi previamente classificada. Esse tipo de modelo prevê um resultado binário, ou seja, um valor que só pode ser uma entre duas opções, como verdadeiro ou falso, fraudulento ou não fraudulento, persuasivo ou não persuasivo (Kumari et al, 2017)

Modelo de *Machine Learning*

A utilização de modelos de *Machine Learning* tem se mostrado essencial no desenvolvimento de sistemas inteligentes, pois permite que soluções computacionais aprendam com os dados e aprimorem sua performance com o tempo. Esses modelos são capazes de identificar padrões complexos e oferecer suporte à tomada de decisão de forma automatizada e eficiente.

Conforme a Sen (2021) um modelo em *Machine Learning* é um algoritmo treinado para identificar padrões em um conjunto de dados e é utilizado para fazer previsões ou tomar decisões. Durante o processo de aprendizado da máquina, o modelo analisa os dados, captura e armazena os padrões encontrados, aprimorando sua capacidade de generalização.

2.6 Tipos de Aprendizado de Máquina

2.6.1 Aprendizado Supervisionado

O aprendizado supervisionado é uma abordagem comum no *Machine Learning*, onde os algoritmos aprendem a fazer previsões ou classificações com base em dados de entrada e saída já conhecidos. Esse modelo usa entradas e saídas rotulados para generalizar futuros outputs, sendo chamado de "supervisionado" porque existe um supervisor (conjunto de dados rotulados) que orienta o aprendizado do algoritmo.

Segundo Mahesh (2019), o aprendizado supervisionado é uma abordagem da aprendizagem de máquina que utiliza dados rotulados para treinar algoritmos capazes de mapear entradas para saídas desejadas. O processo envolve dividir os dados em conjuntos de treino e teste, permitindo que o modelo aprenda padrões a partir dos exemplos fornecidos e depois os aplique para fazer previsões ou classificações em novos dados.

Subcategorias do Aprendizado Supervisionado

Classificação

A classificação refere-se à capacidade de treinar uma máquina para categorizar elementos em diferentes classes. Exemplos comuns incluem determinar se um paciente apresenta ou não uma doença, ou identificar se uma mensagem eletrônica deve ser considerada *spam*. Nesse caso, a saída do modelo é discreta, representada por classes ou categorias (Silva, 2023).

Regressão

A regressão é aplicada quando se deseja prever valores contínuos. Nesse contexto, os algoritmos podem estimar preços de imóveis, prever valores de acções no mercado ou calcular variáveis como peso e altura. Ao contrário da classificação, a regressão gera uma saída numérica, permitindo análises quantitativas detalhadas (Silva, 2023.).

Quando usar o aprendizado supervisionado

O aprendizado supervisionado é mais adequado quando se dispõe de conjuntos de dados de entrada e saída já definidos e rotulados. Esse tipo de abordagem é recomendado em contextos onde é possível fornecer exemplos correctos ao algoritmo, permitindo ajustes de parâmetros para otimizar o desempenho do modelo (Silva, 2023).

2.7 Aplicações Móveis

As aplicações móveis têm se consolidado como ferramentas indispensáveis na interacção entre organizações e seus públicos.

Nesse sentido, Kim et al. (2013) afirmam que as aplicações móveis são plataformas poderosas para a construção de relacionamentos com os consumidores, uma vez que permitem que as organizações se conectem com seus utilizadores de maneira mais constante e desenvolvam vínculos mais sólidos.

Sua presença nos dispositivos móveis permite uma comunicação contínua e personalizada, fortalecendo o relacionamento entre empresas e utilizadores. Além de proporcionarem comodidade, essas aplicações desempenham funções específicas que facilitam o dia a dia dos utilizadores, contribuindo para o aumento da eficiência e da fidelização.

Complementarmente, Amalfitano et al. (2013) definem aplicações móveis como *softwares* autónomos desenvolvidos para dispositivos móveis, com o propósito de realizar tarefas específicas para os utilizadores, destacando-se pela sua funcionalidade direccionada e adaptabilidade ao contexto de mobilidade.

2.7.1 Notificações *Push*

As notificações *push* constituem um recurso fundamental na dinâmica das aplicações móveis contemporâneos, permitindo uma comunicação ágil e directa entre o sistema e seus utilizadores. Elas são exibidas na tela de bloqueio ou na barra de notificações dos dispositivos, com o propósito de alertar, lembrar ou incentivar acções específicas por parte do utilizador.

Na perspectiva de Wohllebe (2020), as notificações *push* são mensagens enviadas directamente aos smartphones dos utilizadores, geralmente aparecendo na tela de bloqueio ou na barra de notificações,

com o intuito de influenciar o comportamento do consumidor. Embora possam gerar impactos positivos em estratégias de marketing e comunicação, o autor destaca que seu uso inadequado pode ser percebido como invasivo, comprometendo a experiência do usuário.

Complementarmente, Radha Krishna et al. (2024) afirmam que as notificações *push*, ao fornecerem mensagens personalizadas e actualizações em tempo real, têm o potencial de aumentar significativamente o engajamento do utilizador com a aplicação. No entanto, alertam que o envio excessivo dessas notificações pode provocar frustração, levando o utilizador a desactivá-las ou até mesmo a desinstalar a aplicação.

2.8 Web Plataforma

A *web* como plataforma consiste em um ambiente digital onde o *software* não é mais vendido como produto, mas oferecido como um serviço acessível online. Nessa plataforma, as aplicações são publicadas na internet para serem usadas livremente pelos utilizadores, possibilitando actualizações contínuas e automáticas, sem a necessidade de instalação ou intervenção por parte do utilizador final.

Segundo Bomfim e Sampaio (2008), A *Web* é uma fonte de conteúdo e funcionalidades, uma plataforma servindo aplicações a utilizadores finais. Em lugar de comercializar sistemas, o desenvolvedor publica-os na *web* para que sejam utilizados livremente.

2.8.1 API (Interface de Programação de Aplicação)

Fernandes (2012) define API como uma especificação que facilita a troca de mensagens ou dados entre diferentes aplicações de *software*, ocultando detalhes de implementação para simplificar o desenvolvimento de novos sistemas.

2.8.2 Google Maps API

Segundo Veinberg e Ayres (2013), a integração da Google *Maps* API em sistemas *web* permite a interacção directa dos utilizadores com mapas para adicionar e visualizar informações geográficas, facilitando operações como a inserção de marcadores baseados em coordenadas geográficas, além da conexão com bancos de dados para gerenciar esses dados espaciais.

2.8.3 Rastreo em tempo real

O rastreo em tempo real é uma tecnologia que possibilita o acompanhamento contínuo da localização e movimentação de um objecto, pessoa ou veículo. De acordo com Abreu (2008), o sistema de rastreo contínuo utiliza tecnologias como GPS e redes móveis para determinar e transmitir constantemente a posição geográfica de objectos ou veículos. Esse processo combina dispositivos electrónicos e *software*, possibilitando a supervisão contínua e precisa, fundamental para aplicações em logística e gestão operacional.

2.8.4 Estimativa do tempo de Chegada

O ETA é uma previsão do momento em que uma viatura chegará a uma determinada paragem.

Segundo Yu et al. (2011), a estimativa do tempo de chegada (ETA) em sistemas de transporte é uma previsão calculada da hora em que uma viatura irá chegar a uma parada específica, especialmente em pontos que atendem múltiplas rotas. Essa previsão é feita utilizando dados em tempo real e históricos, como tempos de chegada em locais próximos e tempos médios de percurso, e é aprimorada por modelos matemáticos e técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais artificiais e máquinas de vector de suporte.

2.9 Estudos Relacionados

Para melhor compreender a aplicação prática de tecnologias inteligentes no transporte escolar, apresentam-se dois estudos de caso representativos, que exemplificam soluções baseadas em IoT e RFID.

2.9.1 Sistema Inteligente de Transporte Escolar e Rastreamento de Estudantes Baseado em IoT

O Sistema Inteligente de Transporte Escolar e Rastreamento de Estudantes baseado em IoT, foi desenvolvido para otimizar a gestão de veículos escolares e o acompanhamento da presença dos alunos (Gadade, Mulani, & Harale, 2024).

O sistema utiliza um microcontrolador ESP32 como unidade central, responsável por coordenar os demais componentes. A localização do veículo é obtida continuamente por meio de um módulo GPS, enquanto a presença dos alunos é registrada automaticamente através de cartões RFID, que cada estudante deve utilizar ao entrar e sair do transporte. Para assegurar a precisão temporal dos registros, é empregado um módulo de relógio em tempo real (RTC), e as informações são exibidas em um display LCD dentro do veículo, permitindo que motoristas e estudantes acompanhem dados como localização e frequência. Além disso, todos os registros são enviados automaticamente para uma planilha no Google *Sheets*, possibilitando que a escola e os pais tenham acesso tanto em tempo real quanto a dados históricos. O sistema ainda prevê a emissão de alertas para situações de emergências como desvios de rota ou atrasos.

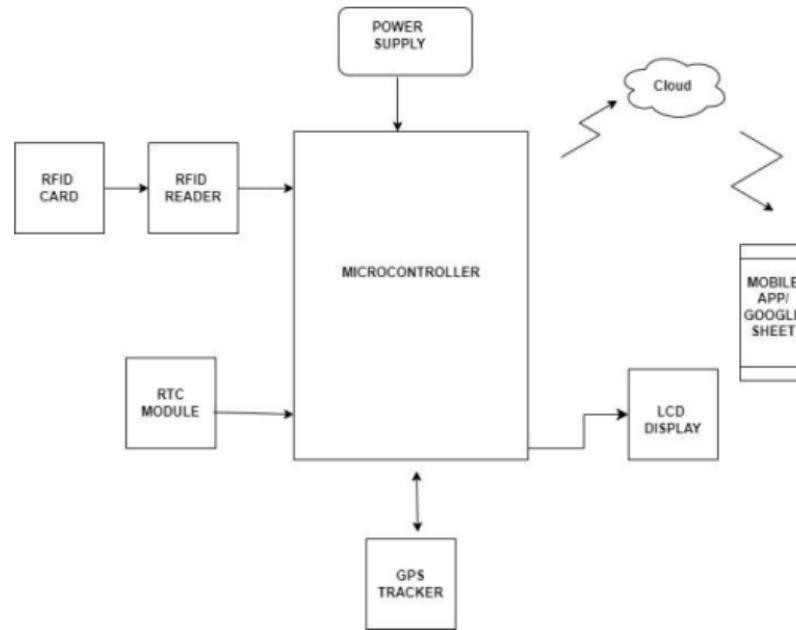


Figura 1: Diagrama do sistema de transporte escolar inteligente. Fonte: Gadade, Mulani, & Harale, 2024.

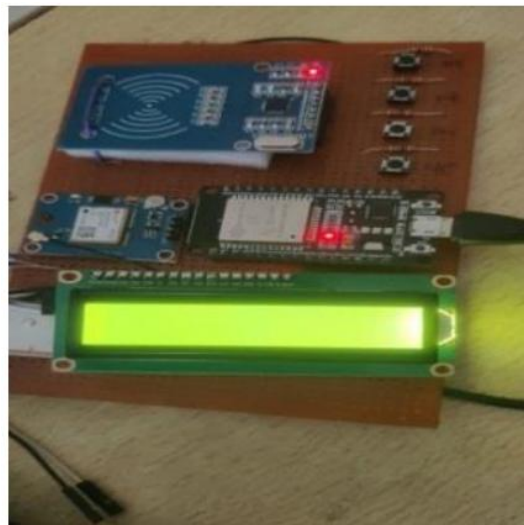


Figura 2: Diagrama de desenvolvimento do projeto. Fonte : Gadade, Mulani, & Harale, 2024.

2.9.2 Sistema Inteligente de Rastreamento de Transporte Escolar utilizando RFID Passivo

Shaaban, Bekkali, Ben Hamida e Kadri (2013) desenvolveram um **Sistema Inteligente de Rastreamento de Transporte Escolar utilizando RFID Passivo** para aumentar a segurança das crianças. O sistema integra RFID, GPS e GPRS, registrando automaticamente o embarque e desembarque dos alunos por meio de cartões RFID embutidos nas mochilas, sem intervenção de motoristas ou estudantes. Os dados são enviados a uma base segura, permitindo que pais recebam alertas via SMS e que escolas monitorizem em tempo real a localização da carrinha escolar e dos alunos. A arquitetura do sistema inclui o módulo

de rastreio a bordo e na escola, o *Smart Gateway*, o servidor central e aplicações para utilizadores finais, possibilitando geração de relatórios, alertas e suporte à gestão das rotas. Apesar dos avanços, a estimativa precisa da posição dos alunos ainda enfrenta desafios devido a flutuações do sinal RFID e interferências ambientais.

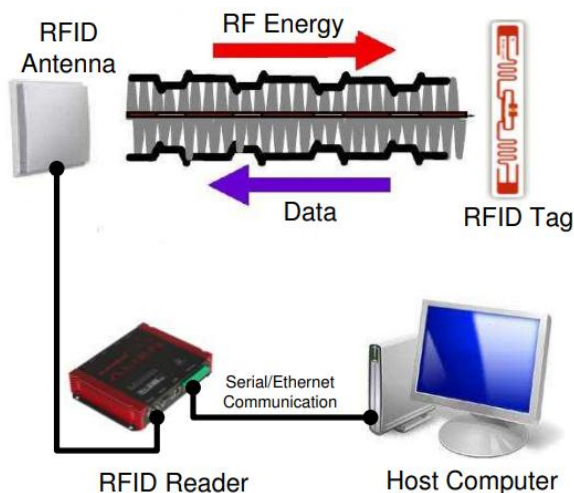


Figura 3: Sistema RFID Passivo. Fonte: Shaaban et al. (2013).

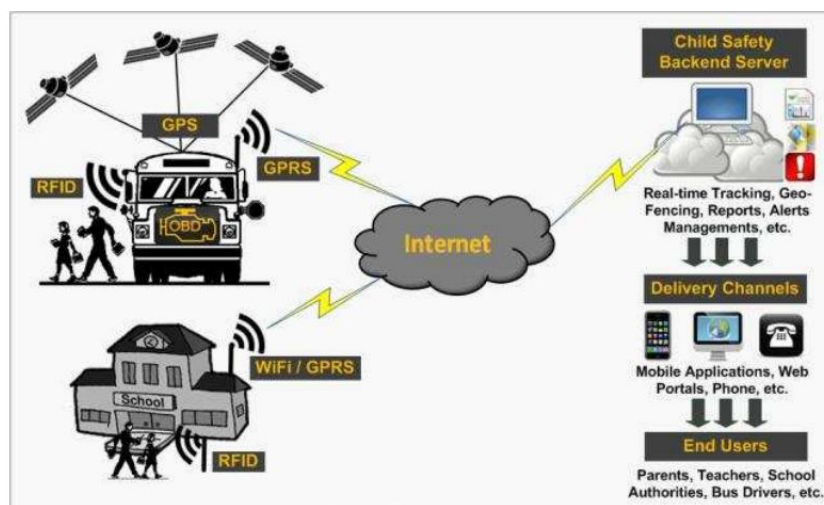


Figura 4: Arquitectura do Sistema. Fonte: Shaaban et al. ,2013.

2.9.3 Análise Comparativa

Ao analisar os sistemas existentes de rastreio e gestão do transporte escolar, verifica-se que cada solução apresenta contributos importantes, mas também limitações significativas. O sistema desenvolvido por Shaaban et al. (2013) utiliza RFID passivo em conjunto com GPS e GPRS para monitorar os estudantes dentro do autocarro, enviando alertas via SMS aos pais em situações críticas. Este modelo permite o rastreio em tempo real do veículo e o registo automático da presença, oferecendo uma forma inicial de supervisão da segurança dos alunos durante o transporte. No entanto, apresenta algumas limitações. O uso de RFID passivo pode gerar falhas de leitura devido a interferências de sinal, comprometendo a

precisão dos registos de presença. Além disso, a sua cobertura limita-se exclusivamente a carrinha escolar, não abrangendo a monitorização dentro da escola ou em áreas externas. O sistema oferece apenas alertas simples via SMS, sem integração com aplicações móveis modernas ou painéis de controle interactivos. A *interface* para os pais e a administração escolar é básica, e o processamento de dados limita-se a relatórios centralizados, sem mecanismos de análise preditiva ou optimização de rotas. Por fim, a escalabilidade é restrita, pois a expansão para múltiplos veículos ou rotas complexas exige ajustes manuais e infraestrutura adicional.

Por sua vez, o sistema de Gadade et al. (2024) apresenta avanços tecnológicos ao integrar ESP32, GPS, RFID, RTC e armazenamento na nuvem via Google *Sheets*. Ele oferece registo automático de presença, rastreio em tempo real e armazenamento remoto, permitindo algum nível de monitorização à distância. Apesar disso, as suas limitações também são evidentes. Tal como o sistema anterior, a cobertura restringe-se ao autocarro, sem integração com monitorização interno da escola. O envio de alertas depende do Google *Sheets*, sendo menos robusto e automatizado do que no sistema de Shaaban et al., não existindo notificações críticas em tempo real mais avançadas. A *interface* de utilizador limita-se a um display LCD no veículo e à visualização através da planilha, não oferecendo painéis de controle interactivos nem aplicações móveis para diferentes perfis de utilizadores. Além disso, o processamento de dados é mínimo, sem análise preditiva, cálculo de ETA ou optimização de rotas, e a dependência de conectividade com a internet pode comprometer o desempenho em áreas com sinal instável. A escalabilidade também é limitada, funcionando melhor em ambientes com poucos veículos e rotas simples.

Comparativamente, ambos os sistemas apresentam avanços importantes no rastreio do transporte escolar, mas mantêm lacunas significativas. Shaaban et al. destacam-se pelos alertas automáticos via SMS e *backend* centralizado, mas sofrem com a precisão limitada do RFID passivo e cobertura restrita ao autocarro. Gadade et al. oferecem integração em nuvem, registo automático de presença e display no veículo, mas carecem de alertas robustos, *interfaces* modernas, análise de dados e independência de conectividade confiável. Em resumo, ambos os sistemas têm cobertura limitada, ausência de *interfaces* interactivos, falta de análise preditiva e dependência de tecnologias específicas com limitações técnicas, revelando espaço considerável para melhorias na gestão e monitorização do transporte escolar.

Apesar dos contributos tecnológicos destes sistemas, a sua implementação prática no contexto local enfrenta várias dificuldades:

- **Custos de implementação:** A aquisição de RFID, módulos GPS, microcontroladores ESP32 e integração em nuvem, ou sistemas com *backend* robusto e alertas automáticos, pode ser financeiramente inviável para escolas com recursos limitados. Manutenção de *hardware*, substituição de componentes e suporte técnico exigem investimento contínuo.
- **Adequação cultural e operacional:** Alertas via planilhas na nuvem podem não ser facilmente compreendidos por pais e funcionários pouco familiarizados com tecnologia. Rotinas escolares locais podem variar, tornando difícil adaptar sistemas pré-existentes sem personalização.
- **Escalabilidade limitada:** Ambos foram pensados para pequenas frotas ou rotas simples. Na realidade local, com escolas maiores ou múltiplas rotas, a infra-estrutura existente seria insuficiente sem servidores locais ou integração entre várias unidades escolares.
- **Robustez face a condições locais:** Interferências em sinais RFID passivos, instabilidade de energia ou condições climáticas adversas podem comprometer a fiabilidade do sistema. A manutenção preventiva e correctiva é mais difícil quando os dispositivos são sensíveis e o suporte é limitado.

Em síntese, embora tecnologicamente avançados, os sistemas analisados não se adaptam facilmente à realidade local devido à custos elevados, complexidade técnica, limitações culturais, escalabilidade restrita e baixa robustez. Isto evidencia a necessidade de soluções mais acessíveis, flexíveis e adaptadas ao contexto das escolas em Moçambique.

Tecnologias Emergentes em Transporte Escolar Inteligente

Monitorização em Tempo Real e Gestão de Frotas

Os sistemas mais modernos utilizam dispositivos GPS e microcontroladores, como o ESP32, para permitir o rastreio da localização dos veículos escolares em tempo real. Estes sistemas também podem integrar sensores e módulos de comunicação que registam automaticamente a presença dos alunos, melhorando a segurança e facilitando a comunicação com os encarregados de educação. Além disso, o armazenamento em nuvem possibilita que os dados históricos possam ser analisados para otimizar operações futuras.

Planeamento de Rotas com Inteligência Artificial

Algoritmos de IA, como aprendizado por reforço, redes neurais ou algoritmos genéticos, são aplicados para otimizar o planeamento de rotas e horários dos autocarros escolares. Estes sistemas consideram variáveis como o tráfego, condições meteorológicas e consumo de energia, permitindo reduzir custos operacionais e o tempo de deslocação, ao mesmo tempo que aumentam a pontualidade e a eficiência do serviço.

Comunicação e Acesso à Informação

O desenvolvimento de plataformas *web* e aplicações móveis permite que pais, alunos e escolas acedam a informações em tempo real sobre o transporte escolar. Isto inclui a localização dos veículos, horários de chegada e partida, e alertas de segurança. Tais funcionalidades aumentam a transparência e a confiança dos encarregados de educação, ao mesmo tempo que promovem a digitalização de processos escolares.

Desafios e Considerações no Contexto de Moçambique

Apesar das soluções tecnológicas avançadas, a implementação de sistemas inteligentes de transporte escolar em Moçambique enfrenta desafios significativos:

- **Infra-estrutura tecnológica limitada:** A carência de redes de comunicação fiáveis e de equipamentos adequados dificulta a aplicação de soluções baseadas em IoT.
- **Conectividade restrita:** Em muitas áreas rurais, a cobertura de internet móvel é instável, comprometendo a eficácia de sistemas que dependem de comunicação em tempo real.
- **Capacitação técnica insuficiente:** Existe necessidade de formação local para operar e manter estes sistemas, o que pode exigir investimentos em treino e suporte técnico.
- **Sustentabilidade financeira:** O custo de aquisição de *hardware*, *softwares*, manutenção e actualização contínua pode ser elevado, especialmente para escolas públicas ou com orçamento limitado.
- **Adaptação cultural e operacional:** A aceitação de novas tecnologias depende da familiaridade dos pais, alunos e pessoal escolar com dispositivos digitais e sistemas online.

Potencial de Implementação em Moçambique

Apesar das limitações, a adaptação de tecnologias emergentes ao contexto moçambicano apresenta várias oportunidades:

- **Segurança reforçada:** Monitorização em tempo real e comunicação eficiente podem reduzir riscos durante o transporte escolar.
- **Eficiência operacional:** A optimização de rotas e horários contribui para a redução de custos e melhoria da pontualidade.
- **Inclusão digital:** O uso de sistemas digitais promove a alfabetização tecnológica entre alunos, encarregados de educação e funcionários escolares.
- **Desenvolvimento local:** A implementação e manutenção destes sistemas podem gerar empregos, capacitar técnicos locais e fomentar inovação tecnológica no país.

Material e Métodos

Neste capítulo apresenta-se a abordagem metodológica, as técnicas utilizadas para a recolha de dados e análise de dados. A metodologia escolhida forneceu o percurso necessário para alcançar os objectivos propostos, orientando cada fase da investigação de forma sistemática.

Para Gil (2008), o principal objectivo da pesquisa científica é oferecer respostas fundamentadas para problemas específicos por meio da aplicação de procedimentos científicos, o que assegura a validade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

3.1 Metodologia de Pesquisa

3.1.1 Abordagem de Investigação

O presente estudo propõe-se a desenvolver uma aplicação móvel e plataforma *web* para localização e gestão de carrinhas escolares. A abordagem metodológica adoptada é mista, com predominância qualitativa, por priorizar a compreensão das percepções, experiências e desafios vivenciados pelas diferentes entidades envolvidas no transporte escolar que são os pais/alunos, acompanhantes escolares, motoristas e direcção escolar.

Conforme destaca Mutimucuo (2008), a abordagem qualitativa permite captar as interpretações sociais dos participantes, sendo adequado para investigações que envolvem comportamentos humanos, relações sociais e processos organizacionais.

No que diz respeito à natureza da pesquisa, o trabalho enquadra-se como pesquisa aplicada, uma vez que se orienta para a resolução de um problema concreto.

No âmbito desta abordagem, foi utilizada a técnica descritiva, uma vez que o estudo procurou compreender, observar, registrar e analisar fenómenos de forma sistemática. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a técnica descritiva possibilita levantar dados observáveis e mensuráveis, descrevendo com precisão as características de uma determinada população ou fenómeno, bem como a frequência e as relações entre os eventos estudados.

Assim, a combinação entre abordagem qualitativa e técnica descritiva permitiu uma análise aprofundada da realidade do transporte escolar, com base em dados colectados por meio de entrevistas, observações e análise documental. No contexto deste trabalho, a técnica descritiva foi considerada e aplicada através do levantamento detalhado de informações sobre o funcionamento das carrinhas escolares, rotas, comunicação entre os intervenientes e utilização de tecnologias existentes. Para isso, foram colectados dados por meio de entrevistas semiestruturadas com motoristas, acompanhantes, encarregados de educação e administradores escolares, observações participativas durante o transporte e análise documental de regulamentos e horários das escolas. A aplicação sistemática da técnica descritiva possibilitou registrar comportamentos, identificar padrões operacionais, mapear dificuldades e documentar práticas institucionais, garantindo que cada fenómeno observado fosse descrito de forma detalhada e contextualizada.

É importante destacar que, embora a investigação seja predominantemente qualitativa na fase de diagnóstico e compreensão do contexto, a fase de implementação da solução incorporou procedimentos quantitativos e experimentais para validação técnica dos modelos desenvolvidos, incluindo o uso de métricas de desempenho (MAE e RMSE) e a aplicação de K-Fold Cross-Validation nos algoritmos de Inteligência Artificial. Esta combinação assegura que as decisões técnicas, como optimização de rotas e previsão de tempos de chegada (ETA), estejam fundamentadas em evidências quantitativas, complementando a análise qualitativa.

3.1.2 Estratégia de Investigação

Uma vez adoptada a abordagem qualitativa, a estrutura metodológica do estudo é um Estudo de Caso Múltiplo, conforme orienta Creswell (2007). Dois casos foram analisados em profundidade: a Escola MIC e a Aga Khan *Academy*, ambas localizadas em Maputo e caracterizadas por possuírem sistemas distintos de gestão do transporte escolar.

A selecção foi baseada em critérios de representatividade, abrangendo o funcionamento do transporte escolar, diferentes níveis de ensino, tipos de gestão de transporte e utilização de tecnologia, permitindo analisar tanto modelos tradicionais quanto sistemas com recursos tecnológicos limitados.

3.1.3 Papel do Investigador

Em conformidade com Creswell (2007), o papel do investigador é explicitado como elemento central no processo interpretativo.

Posição do Investigador

O investigador actuou como observador participante.

Relações com o campo

O investigador não possui vínculo profissional com nenhuma das escolas analisadas, não configurando “investigação no quintal”. O acesso ao campo foi obtido mediante autorização formal das direcções escolares.

Ética

Foram observadas normas éticas durante todo o processo de investigação, assegurando integridade e respeito aos participantes.

Foram garantidos:

- Consentimento informado verbal aos participantes.
- Não recolha de dados sensíveis desnecessários.
- Armazenamento seguro das entrevistas e notas.

3.2 Técnica de recolha de dados

Para alcançar os objectivos estabelecidos, foram utilizadas três técnicas principais de recolha de dados: análise documental, entrevistas semiestruturadas e observação participativa.

3.2.1 Análise Documental

A análise documental consistiu na consulta de documentos internos das duas instituições seleccionadas, nomeadamente horários de transporte, bem como regulamentos e orientações formais e informais sobre o funcionamento das carrinhas escolares. Conforme descreve Gil (2008), esta técnica baseia-se na análise de documentos sem recurso a tratamento estatístico, permitindo compreender o funcionamento de sistemas ou processos a partir de registos formais.

No presente estudo, os documentos analisados pertenciam às escolas MIC e *Aga Khan Academy* e foram seleccionados segundo o critério de relevância directa para a gestão do transporte escolar, possibilitando verificar práticas institucionais, rotinas operacionais, organização de rotas e procedimentos adoptados pelos motoristas e administração.

3.2.2 Entrevista Semiestruturada

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com as entidades directamente ligados ao transporte escolar, incluindo administradores escolares da MIC, administradores da *Aga Khan Academy*, motoristas de ambas as instituições, além de 50 encarregados de educação (20 da MIC e 30 da *Aga Khan Academy*). Também foram recolhidas percepções de acompanhantes escolares envolvidos no processo.

A selecção dos participantes seguiu o critério de relevância funcional, ou seja, escolheu-se entrevistar indivíduos cujas funções se relacionavam directamente com aspectos centrais para o objecto de estudo, garantindo assim dados consistentes e contextualizados.

As entrevistas tiveram duração média de 20 a 30 minutos e seguiram um guião inicial que incluía temas como:

- funcionamento das rotas;
- desafios enfrentados no transporte escolar;
- comunicação entre escola e encarregados;
- segurança, pontualidade e registo de presenças;
- percepção sobre o uso de soluções tecnológicas de monitoria.

O carácter semiestruturado permitiu flexibilidade ao entrevistador para adaptar questões em função das respostas obtidas, conforme destacado por Alves-Mazzotti e Gewandszajder (2001).

Mutimucuo (2008) reforça que esta técnica assenta num guião base, mas admite ajustes ao longo da interação, favorecendo a obtenção de dados ricos e espontâneos.

3.2.3 Observação Participativa

A observação foi utilizada com o objectivo de identificar comportamentos, práticas e fenómenos relevantes para a compreensão da dinâmica do transporte escolar. Trata-se de uma técnica que se apoia directamente nos sentidos do investigador para analisar factos, comportamentos e padrões operacionais (Marconi & Lakatos, 2003).

Atendendo ao papel do investigador, que actuou como observador participante, a observação participativa permitiu uma aproximação directa e contextualizada ao ambiente escolar.

Neste estudo, a observação participativa decorreu em duas fases:

1. Fase inicial:

O investigador acompanhou presencialmente o funcionamento das carrinhas escolares, observando:

- procedimentos de entrada e saída dos alunos;

- comunicação entre motoristas, escola e encarregados;
- registo de presenças e organização das rotas;

Estas observações complementaram os dados obtidos nas entrevistas.

2. Fase de implementação do sistema:

O investigador observou activamente o uso do protótipo desenvolvido, registando:

- interações dos utilizadores com a aplicação;
- dificuldades operacionais;
- padrões de uso;
- sugestões e *feedback* dos participantes;

De acordo com Marconi e Lakatos (2003), este tipo de observação implica envolvimento directo do observador no ambiente, proporcionando uma percepção mais contextualizada e profunda do fenómeno de interesse.

3.2.4 Amostra

Para o presente estudo, foram identificadas seis escolas em Maputo que oferecem algum tipo de transporte escolar, abrangendo diferentes níveis de ensino, nomeadamente o ensino primário e secundário. Durante a fase de selecção, verificou-se que algumas instituições possuíam apenas uma viatura, enquanto outras recorriam a serviços terceirizados. Verificou-se ainda que certas escolas contavam com frota própria de carrinhas escolares, mas sem qualquer sistema tecnológico de monitoria ou gestão do transporte, ao passo que outras tinham um sistema limitado, tendo apenas a funcionalidade de localização das carrinhas.

Para efeitos da investigação, a escolha da amostra seguiu uma abordagem estratificada, considerando dois critérios principais:

- **Tipo de gestão do transporte:** escolas com frota activa de carrinhas escolares internas;
- **Número de viaturas disponíveis:** privilegiou-se aquelas com maior diversidade de rotas e horários.

Foram também considerados os seguintes critérios de selecção adicionais:

- Disponibilidade e interesse das escolas em colaborar com o estudo;
- Presença de múltiplas entidades envolvidos no transporte escolar: motoristas, acompanhantes, alunos e encarregados de educação.

Outros critérios considerados para definição dos estratos incluíram:

- Tipo de escola: pública, privada ou comunitária;
- Tamanho da frota: pequena (1 viatura), média (2–5 viaturas) ou grande (mais de 5 viaturas);
- Uso de tecnologia: sem sistema digital, com sistema básico ou avançado;
- Nível de ensino: apenas primário, apenas secundário ou misto.

Assim sendo, com base nesses estratos, das seis escolas inicialmente identificadas, seleccionaram-se duas escolas privadas, com frotas médias (3–5 viaturas), sendo que uma não possuía sistema tecnológico e a outra dispunha apenas de sistema limitado de localização, ambas com níveis de ensino primário e secundário. Essa escolha permitiu analisar tanto a gestão do transporte escolar tradicional quanto as dificuldades operacionais em escolas de porte médio, proporcionando um cenário ideal para observação e desenvolvimento da solução tecnológica proposta.

Tipo de amostra

A amostra utilizada no estudo foi do tipo por conveniência, uma vez que a selecção das escolas e dos participantes dependia da disponibilidade e interesse em colaborar com a pesquisa.

Embora a escolha por conveniência limite a generalização dos resultados para toda a população de escolas em Maputo, ela é adequada para o propósito deste estudo qualitativo e exploratório, cujo foco é compreender detalhadamente processos, práticas e desafios do transporte escolar em contextos específicos.

Além disso, a selecção de duas escolas com características distintas, uma com sistema limitado de monitoramento e outra sem automação, permitiu examinar diferentes cenários operacionais, proporcionando profundidade analítica suficiente para sustentar os objectivos do estudo e o desenvolvimento da solução tecnológica proposta, mesmo que os resultados não sejam directamente generalizáveis para todas as instituições de ensino.

Participantes da amostra

- Motoristas: foram entrevistados motoristas disponíveis que operavam as carrinhas das duas escolas. (2 da *Aga Khan Academy* e 4 da MIC)
- Encarregados de educação: participaram 50 encarregados de educação, através de formulário digital.
- Administradores e responsáveis logísticos: 3 administrativos principais (um da MIC e dois da *Aga Khan Academy*).

- Acompanhantes escolares: participaram os acompanhantes que actuavam diariamente nas carrinhas observadas.

Embora a amostra inclua apenas duas escolas, tal opção é adequada e metodologicamente consistente com o propósito de uma investigação qualitativa aplicada, cujo objectivo não é generalizar estatisticamente, mas aprofundar a compreensão de processos, práticas e percepções em contexto real.

A validade externa foi reforçada através de:

- **Triangulação de técnicas** (entrevista, observação e análise documental);
- **Diversidade de entidades** (administradores, motoristas, acompanhantes, alunos/encarregados);
- **Dois contextos institucionais distintos**, um com tecnologia limitada e outro sem tecnologia;
- **Variedade de rotas, níveis de ensino e número de viaturas**, permitindo observar cenários representativos do transporte escolar urbano em Maputo.

Assim, apesar do número reduzido de escolas, a amostra tem profundidade suficiente para atingir os objectivos da investigação, sendo adequada a estudos qualitativos e aplicados em contexto de desenvolvimento tecnológico.

3.2.5 Instrumentos de Recolha de Dados

A recolha de dados foi realizada através de vários instrumentos. Foram utilizados os seguintes métodos:

- **Guião de entrevistas:** Elaborou-se um guião estruturado de entrevistas com questões específicas dirigidas à administração escolar assim como aos motoristas e acompanhantes escolares, de modo a captar informações sobre a gestão das carrinhas, desafios enfrentados e estratégias de supervisão.

- **Formulário digital (Google Forms):** Para a recolha das percepções dos pais e alunos, recorreu-se a um questionário online, utilizado como instrumento de apoio, sobretudo devido às limitações de acesso presencial e à disponibilidade dos encarregados de educação. Este meio possibilitou a participação remota e facilitou a obtenção de dados relacionados com a experiência, o nível de satisfação e os processos de comunicação associados ao transporte escolar.

Importa salientar que, embora o questionário digital seja frequentemente associado a abordagens quantitativas, neste estudo os dados obtidos não foram tratados de forma estatística. As respostas foram analisadas de maneira qualitativa, por meio da identificação de padrões, categorias e temas recorrentes, servindo como elemento complementar às entrevistas e contribuindo para a triangulação dos dados e o reforço da consistência analítica do estudo.

- **Observação estruturada:** Durante as actividades de campo, foi utilizado um guião de observação baseado nos princípios de Marconi e Lakatos (2003), permitindo registo sistemático de:

- dinâmica de recolha e entrega de alunos;
- rotinas dos motoristas e acompanhantes;
- processos de comunicação entre as entidades;
- funcionamento real das carrinhas e horários;
- dificuldades operacionais.

Resultados da Recolha de Dados junto dos Pais/Alunos

As respostas recolhidas por intermédio do formulário digital possibilitou a identificação de padrões de actuação, preocupações recorrentes e necessidades específicas associadas aos processos no âmbito do transporte escolar. Os resultados são apresentados segundo uma abordagem qualitativa, organizados em torno de eixos temáticos emergentes, servindo de complemento às informações obtidas através das entrevistas realizadas.

Comunicação em situações de atraso

Constatou-se que, perante a ocorrência de atrasos no transporte escolar, os encarregados de educação tendem a adoptar iniciativas imediatas com vista à obtenção de esclarecimentos. As respostas evidenciam uma forte dependência de canais informais de comunicação, designadamente grupos de WhatsApp, bem como chamadas telefónicas com a escola. Em menor proporção, alguns participantes optam por aguardar pela disponibilização espontânea de informações.

Tal comportamento revela a inexistência de um fluxo de comunicação estruturado e centralizado, conduzindo os pais à utilização simultânea de múltiplos meios na tentativa de obter esclarecimentos.

Principais preocupações associadas aos atrasos

As respostas indicam que a principal fonte de inquietação não reside exclusivamente no atraso em si, mas, sobretudo, na ausência de informação clara, atempada e contextualizada. Destacam-se como preocupações centrais o desconhecimento das razões que levam ao atraso e a inexistência de uma

estimativa previsível para a resolução do problema. A dificuldade em reajustar compromissos pessoais surge como uma preocupação secundária, embora não negligenciável.

Estes resultados reforçam a relevância de mecanismos de comunicação preventiva e informativa no contexto do transporte escolar.

Impacto emocional da falha na comunicação

A maioria dos encarregados de educação reconhece que a demora ou a ausência de comunicação por parte da escola, em situações de atraso, origina níveis consideráveis de ansiedade e apreensão. Tal constatação evidencia que a comunicação assume não apenas uma função informativa, mas também um papel emocional, influenciando a percepção de segurança e a confiança dos pais relativamente ao serviço prestado.

Tempo de resposta da escola

No que concerne ao intervalo de tempo entre a identificação de um atraso e a recepção de uma explicação por parte da escola, prevalece a percepção de lentidão na resposta. Os participantes referem, de forma recorrente, períodos prolongados de espera por esclarecimentos, bem como situações em que a resposta não ocorre de forma consistente. Este cenário contribui para o aumento da incerteza e para a insatisfação dos encarregados de educação.

Comunicação sobre alterações na rotina dos alunos

Relativamente às situações de recolha antecipada dos alunos, observa-se que a comunicação com a escola ocorre de forma pouco sistemática. A maioria dos encarregados de educação admite informar raramente a escola quando o aluno não fará uso do transporte, o que evidencia fragilidades nos mecanismos actuais de notificação e reforça a necessidade de soluções mais práticas e acessíveis.

Percepção sobre soluções digitais

Os pais manifestaram uma percepção favorável quanto à utilidade de uma aplicação que permita informar antecipadamente a escola sobre alterações na utilização do transporte, bem como receber notificações em tempo real. Foram particularmente valorizadas funcionalidades como alertas de partida e chegada da carrinha, confirmação do embarque do aluno, notificações de atrasos inesperados e comunicações de emergência.

Adicionalmente, a possibilidade de visualizar a rota planeada e de receber informações associadas às condições de tráfego foi amplamente reconhecida como relevante, reforçando a importância da transparência e da previsibilidade na prestação do serviço de transporte escolar.

Limitações do modelo actual de comunicação

As respostas evidenciam que o modelo de comunicação actualmente em vigor, assente essencialmente no uso do WhatsApp e em contactos pontuais com a escola, é percebido como pouco eficaz. Entre as principais limitações identificadas destacam-se a chegada tardia da informação, a inexistência de actualizações em tempo real, a dispersão das mensagens em meio a outras conversas nos grupos e a falta de clareza na comunicação.

Pré-teste dos instrumentos

Antes da aplicação dos instrumentos nas escolas seleccionadas para a amostra, foi realizado um pré-teste na Escola Secundária Dom Bosco do Infulene e no Bairro do Jardim, envolvendo motoristas, alunos e encarregados. O pré-teste permitiu:

- avaliar a clareza e adequação das perguntas;
- verificar a pertinência das categorias temáticas;
- testar a duração média das entrevistas;
- ajustar a linguagem para melhor compreensão dos participantes;
- identificar potenciais problemas na recolha de dados.

Com base nos resultados do pré-teste, procederam-se a ajustes na formulação das questões, na estrutura do guião e na ordem de aplicação dos instrumentos, garantindo maior rigor metodológico e melhor qualidade dos dados recolhidos.

3.2.6 Procedimento de Registo de Dados

Segundo Creswell (2007), o registo de dados é uma etapa essencial na pesquisa qualitativa, pois garante que as informações colectadas sejam preservadas de forma detalhada, organizada e fiel ao contexto observado.

Os dados foram registados da seguinte forma:

- **Entrevistas:** notas manuais e digitais

- **Observações:** diário de campo estruturado (contexto, entidades, eventos, interações, inferências)
- **Documentos:** digitalização e categorização por tipo.
- **Organização:** todas as fontes foram armazenadas em pastas separadas por escola e por técnica de recolha.

Este processo assegurou rastreabilidade e consistência dos dados.

3.2.7 Estratégia de Análise de Dados

A análise dos dados neste estudo seguiu uma abordagem qualitativa, conforme orienta Creswell (2007), envolvendo um processo sistemático de organização, categorização, descrição e interpretação das informações recolhidas.

Os dados provenientes das entrevistas, observações e documentos foram transcritos e inicialmente codificados, com posterior identificação de categorias e padrões emergentes, com o objectivo de compreender as percepções, práticas e desafios associados à gestão do transporte escolar.

Trata-se de um processo iterativo e cíclico, no qual o investigador alterna entre a recolha e a interpretação dos dados, ajustando o foco da investigação e aprofundando a compreensão à medida que novas ideias emergem.

Para garantir rigor metodológico, adoptou-se a Análise Temática, conforme proposta por Braun e Clarke (2006), que orientam um processo estruturado de identificação, organização e interpretação de padrões significativos nos dados. Esta estratégia permitiu identificar significados recorrentes, relações entre categorias e padrões que emergiram do material empírico. O processo desenvolveu-se em várias fases:

1. **Familiarização com os dados** – leitura exhaustiva das transcrições, notas de campo e documentos institucionais, permitindo um primeiro contacto profundo com o conteúdo.
2. **Codificação inicial** – atribuição de códigos abertos (“in vivo” quando necessário) para representar ideias, percepções ou fenómenos observados nos relatos dos participantes.
3. **Agrupamento e construção de categorias** – organização dos códigos em conjuntos temáticos provisórios, considerando convergências, divergências e elementos singulares.
4. **Desenvolvimento de temas** – integração das categorias em temas amplos que respondem directamente às questões de investigação, tais como comunicação, gestão de presença, localização e monitoria das viaturas, armazenamento de dados e previsibilidade das rotas.
5. **Revisão e refinamento dos temas** – verificação da coerência interna de cada tema, da

consistência com os dados brutos e da clareza conceptual entre temas distintos.

6. **Interpretação final** – articulação dos resultados com a literatura, o enquadramento teórico e as particularidades contextuais das escolas estudadas.

Paralelamente, foi realizada triangulação interna entre três fontes de dados (entrevistas, observação directa e análise documental).

3.3 Metodologia de Desenvolvimento

A metodologia de desenvolvimento adoptada neste trabalho foi o modelo em cascata, caracterizado pela execução sequencial de fases distintas e interdependentes. Numa primeira etapa, procedeu-se ao levantamento de requisitos, realizado através das técnicas de recolha de dados com diferentes escolas, com o objectivo de compreender o funcionamento actual do transporte escolar e identificar os principais problemas.

De seguida, iniciou-se a fase de análise e concepção, onde foram estruturadas as funcionalidades do sistema e definida a arquitectura tecnológica.

A etapa seguinte corresponde à implementação, na qual o sistema foi efectivamente desenvolvido. Posteriormente, foi realizada a fase de testes, em que o sistema foi validado em contexto real junto às escolas participantes, permitindo verificar o seu desempenho face aos requisitos previamente levantados.

Por fim, a fase de manutenção e ajustes, destinada a corrigir eventuais falhas e a incorporar melhorias identificadas no decorrer da utilização.

3.3.1 Ferramentas de Apoio (CASE)

A implementação da solução tecnológica proposta foi conduzida de forma estruturada, com recurso a ferramentas e tecnologias adequadas ao desenvolvimento de aplicações móveis e plataformas *web*. A selecção destas ferramentas teve em consideração critérios de acessibilidade, escalabilidade, suporte da comunidade de utilizadores e facilidade de integração entre os diferentes módulos do sistema.

- **Visual Studio Code:** utilizado como editor de texto principal para desenvolvimento da aplicação, pela sua leveza, suporte a múltiplas linguagens e vasta oferta de extensões que agilizam a programação.
- **Android Studio:** utilizado como ambiente de simulação e testes para dispositivos móveis Android, permitindo validar o desempenho da aplicação em diferentes resoluções e versões do sistema operativo.
- **Expo Go:** usado como ferramenta de apoio ao desenvolvimento *mobile*, permitindo a visualização imediata das alterações no código e facilitando a fase de testes da aplicação em

tempo real,

3.3.2 Desenvolvimento da Aplicação

- **Linguagem de Programação:** JavaScript, escolhida pela sua versatilidade e pela ampla utilização em aplicações móveis e *web*. Além disso, utilizou-se a linguagem *Python* para o desenvolvimento e implementação dos modelos de *Machine Learning*.
- **Framework de Desenvolvimento:** Na camada de *interface*, utilizou-se o *React Native*, que permite desenvolver aplicações móveis multiplataforma (Android/iOS) a partir de uma única base de código. Para a aplicação *web*, recorreu-se igualmente a *React*, garantindo consistência na experiência do utilizador e partilha de componentes.
- **Integração com APIs:** Google *Maps* API, foi integrado para permitir o rastreio em tempo real das viaturas escolares, através da recolha e processamento de dados geográficos, bem como o cálculo de rotas.
- **Base de Dados:** Supabase, seleccionada por ser uma plataforma open *source*, compatível com PostgreSQL, que fornece autenticação, armazenamento e sincronização de dados em tempo real, adequando-se às necessidades de um sistema de gestão integrado.

3.3.3 Integração com Inteligência Artificial

A integração de técnicas de Inteligência Artificial neste estudo teve como objectivo melhorar a previsão dos tempos de chegada (ETA) e optimizar as rotas. Para isso, combinou-se uma abordagem baseada em *Machine Learning* com dados em tempo real provenientes de serviços externos.

Inicialmente, recorreu-se a um modelo de aprendizagem supervisionada do tipo *Random Forest*, escolhido pela sua robustez, capacidade de generalização e desempenho consistente em conjuntos de dados reduzidos ou heterogéneos. Para garantir a fiabilidade das previsões e reduzir riscos de sobre ajuste, aplicou-se o *K-Fold Cross Validation*, permitindo avaliar o modelo em diferentes partições do conjunto de dados históricos.

Durante este processo, diferentes valores de *K* foram testados, variando entre 3, 5, 7 e 10 *folds*. A análise dos resultados demonstrou que o modelo com o valor mais eficaz foi $K = 5$, uma vez que apresentou o menor erro médio (RMSE e MAE) e a menor variabilidade entre as iterações, mostrando ser mais estável e com melhor capacidade de generalização.

A função principal deste modelo consistiu em estimar o tempo previsto de deslocação entre os diferentes pontos da rota com base nos padrões extraídos do histórico registado pelo sistema. Esse ETA preliminar representa o comportamento médio esperado, considerando condições de operação típicas.

De forma complementar, integrou-se a API do Google *Maps*, especificamente o módulo de trânsito (*Traffic Model*), para obter estimativas de deslocação em tempo real, considerando factores como congestionamento, fluidez do tráfego, obras e eventos inesperados. Assim, os tempos estimados pelo modelo de *Machine Learning* foram ajustados através das informações provenientes do Google *Maps*, permitindo obter previsões mais precisas e alinhadas com o estado actual das vias.

O ETA final tornou-se um valor híbrido, combinando o padrão histórico aprendido pelo algoritmo com as condições do tráfego.

Em seguida, os tempos previstos pelo modelo de *Machine Learning* foram integrados num módulo de optimização de rotas desenvolvido com o Google *OR-Tools*, uma biblioteca de código aberto desenvolvida pelo Google para resolver problemas de roteamento de veículos (*Vehicle Routing Problem* – VRP). Neste módulo, procedeu-se à construção de uma matriz explícita de custos representando o tempo de deslocação entre cada par de pontos ($i \rightarrow j$). A matriz de custos resultante foi utilizada como entrada no *OR-Tools*, permitindo que o algoritmo optimizasse a ordem de recolha com base num cenário mais realista e coerente. Esta estratégia evitou inconsistências que poderiam surgir caso apenas fossem utilizados tempos sequenciais, garantindo que a optimização reflectisse o custo real de deslocação entre qualquer ponto da rota.

Este módulo permitiu determinar as rotas mais eficientes para as carrinhas escolares, considerando restrições como:

- número de veículos disponíveis;
- janelas de tempo de recolha e entrega dos alunos;
- capacidade máxima por carrinha;

3.3.4 Controlo de Versões e Repositório de Código

- **Git:** utilizado para o controlo de versões, permitindo registar o histórico de alterações do código e facilitar a colaboração.
- **GitHub:** usado como repositório remoto para armazenamento e partilha do código-fonte, possibilitando a gestão colaborativa e a preservação das versões estáveis do sistema.

Resultados

O presente capítulo descreve os modelos actuais de funcionamento do transporte escolar nas Instituições seleccionadas, assim como, apresenta a descrição e arquitectura do modelo proposto, com base nos problemas identificados.

4.1 Descrição do Modelo Actual

Para que a solução desenvolvida tenha relevância prática, é necessário compreender como funciona, actualmente, o sistema de gestão do transporte escolar. Com base nas informações recolhidas através de entrevistas, observação e análise documental, descreve-se a seguir o processo em vigor nas instituições.

4.1.1 Processo de Gestão do Transporte Escolar na Aga Khan *Academy* Maputo

Actualmente, a Instituição Aga Khan *Academy* Maputo dispõe de três carrinhas escolares, sendo que duas delas realizam diariamente o percurso até um ponto específico da cidade, denominado Feima, e a terceira dirige-se a outro ponto, ou seja, as carrinhas não recolhem os alunos nas suas casas. O funcionamento do transporte é rígido: quando os alunos não comparecem ao ponto de encontro no horário estipulado, não existe tolerância de espera, e as carrinhas avançam sem o aluno. Em dias em que o número de estudantes é reduzido e apenas se verifica a necessidade de deslocação para um único ponto, a escola procede à junção dos alunos numa única carrinha, informando previamente os encarregados de educação sobre esta alteração.

Cada carrinha conta com a presença de um motorista, responsável pela condução, e um ou dois seguranças, que desempenham o papel de acompanhantes escolar. Estes últimos assumem funções de comunicação com a escola, bem como organizam o transporte escolar ao longo do trajecto. O registo de presenças é feito manualmente, numa folha em Excel impressa, sendo verificado pela manhã no momento da recolha dos alunos e novamente pela tarde, de forma a confirmar quem se encontra presente e quem não regressou na carrinha. Todos os dias, a escola precisa imprimir folhas de registo de presenças para colocar nas carrinhas, sendo estas posteriormente arquivadas. Além disso, os motoristas registam diariamente, em papel, informações relativas à viagem, como a hora de partida, a hora de chegada e os quilómetros percorridos.

As viaturas estão equipadas com dispositivos de GPS ligados a um sistema à qual a escola e os encarregados de educação têm acesso. No entanto, esta aplicação revela-se limitada, uma vez que fornece apenas a localização da carrinha, não disponibilizando funcionalidades adicionais que poderiam reforçar o controlo e a segurança do serviço. Uma desvantagem adicional do sistema actual é que, mesmo fora dos horários normais de recolha e descarga dos estudantes, os pais continuam a ter acesso à localização da carrinha escolar, o que levanta preocupações relacionadas com privacidade, segurança e exposição desnecessária. A comunicação entre escola, encarregados de educação e acompanhantes faz-se através de um grupo de WhatsApp. Sempre que ocorrem atrasos, os pais entram em contacto com a escola para obter esclarecimentos. Esta, por sua vez, contacta a carrinha, recolhe a informação e só depois a retransmite aos encarregados. Em situações de emergência, o fluxo repete-se: o motorista informa a escola, que posteriormente comunica o sucedido aos pais através do mesmo grupo de WhatsApp.

Um dos problemas mais recorrentes neste modelo é o fluxo de informação descrito acima e a ansiedade dos pais perante atrasos, pois desejam obter informações imediatas sobre o que está a acontecer e onde se encontra, em concreto, a carrinha que transporta os seus filhos. Outro problema surge quando os pais recolhem os alunos mais cedo, sem informar a escola. Nestes casos, quando os pais decidem levar os filhos para casa sem comunicar previamente à escola, a carrinha permanece à espera desses alunos que haviam marcado presença no período da manhã, mas que não regressam no transporte da tarde. Esta falta de informação provoca atrasos na saída da carrinha para a devolução dos restantes alunos às suas casas e, como consequência, gera preocupação noutros encarregados, que acabam por contactar a escola para questionar a razão da demora. A ideia de introduzir notificações automáticas junto dos encarregados de educação foi bem recebida, uma vez que permitiria acelerar e simplificar o processo de comunicação, respondendo a uma das fragilidades mais críticas do modelo actual.

Outro aspecto a destacar é a inexistência de um canal estruturado para que os pais possam avaliar a qualidade do serviço de transporte escolar ou apresentar sugestões de melhoria. Actualmente, as manifestações de insatisfação ou recomendações chegam à escola de forma informal, sobretudo através de chamadas telefónicas ou mensagens em grupos de WhatsApp, o que dificulta a recolha sistemática de opiniões e a implementação de melhorias consistentes. Os encarregados é que lidam com os assuntos relacionados do transporte escolar e não os alunos.

Arquitectura Actual

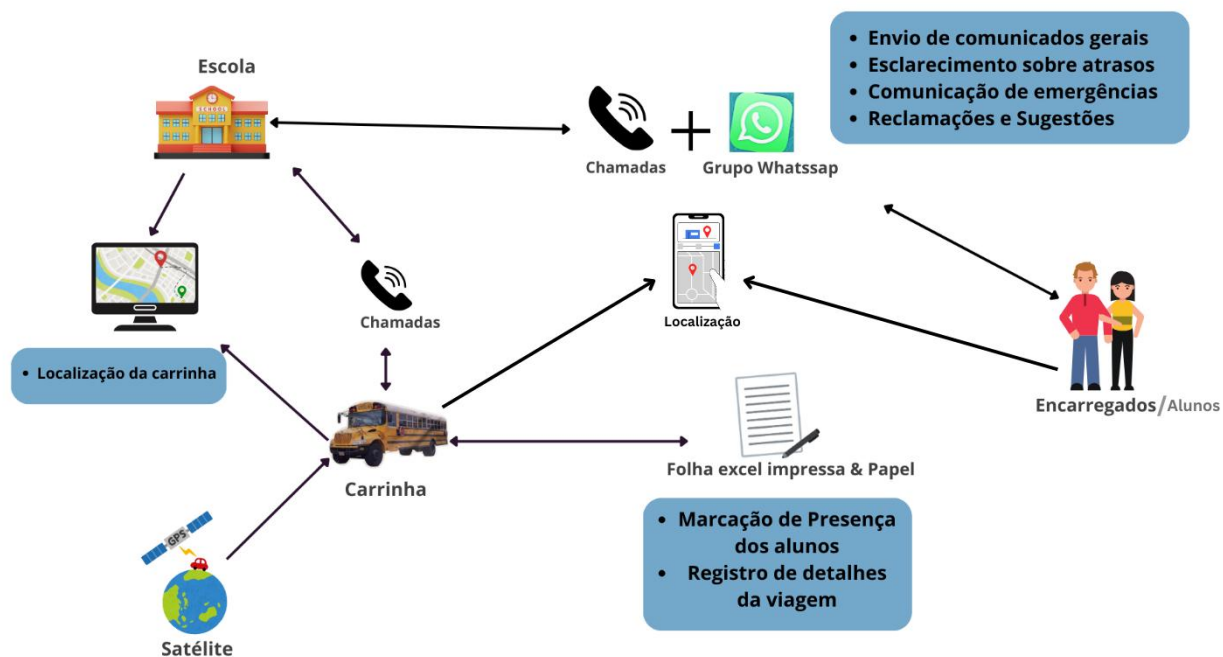


Figura 5:Arquitectura do modelo actual.

4.1.2 Processo de Gestão do Transporte Escolar na Maputo *International College*

A Instituição Maputo *International College* dispõe de quatro carrinhas escolares, cada uma acompanhada por um auxiliar responsável pela organização das crianças durante as viagens. As viaturas realizam três deslocamentos diários: no período da manhã, às 13:00 e às 16:00, por forma a responder aos diferentes horários de saída dos alunos.

Nos horários definidos, todas as carrinhas saem em simultâneo para a recolha e descarga dos alunos. Cada carrinha segue uma rota específica, sendo que a recolha/descarga dos alunos é feita em função da proximidade em relação à escola. O registo de presenças é feito de forma informal, baseado apenas na memória do acompanhante, sem recurso a qualquer registo escrito ou digital.

O processo de descarga dos estudantes é diferente para cada faixa etária. No caso das crianças mais novas, o acompanhante permanece junto da carrinha até que os pais ou responsáveis saiam para as receber. Em determinadas situações, quando não há ninguém visível à porta ou à espera, o acompanhante chega mesmo a bater à porta da residência para assegurar que a criança seja entregue em segurança. Noutras ocasiões, já existe um adulto à espera, o que facilita o processo de entrega.

Por outro lado, no caso dos alunos mais crescidos (adolescentes), é um pouco diferente: estes descem da carrinha de forma autónoma, sem necessidade de acompanhamento até à porta da residência. As carrinhas não estão equipadas com dispositivos de GPS, o que não torna possível o acompanhamento em tempo real por parte da escola e dos encarregados/alunos. Não existe qualquer registo formal das viagens efectuadas, tampouco um histórico de ocorrências relacionadas ao transporte.

Outro problema identificado está relacionado com a comunicação. Quando um aluno não frequenta a escola num determinado dia, muitas vezes os encarregados de educação não informam a carrinha escolar, o que cria dificuldades na gestão do transporte, pois a carrinha parte do princípio de que o aluno estará presente e pode perder tempo à sua espera. Nos casos em que os encarregados comunicam a ausência, essa comunicação é feita via chamadas telefónicas, de forma directa, entre o encarregado e a carrinha. Em situações de emergência durante o trajecto, como avarias na viatura, o contacto é estabelecido directamente entre o encarregado de educação e a carrinha. Nestes casos, é comum que a carrinha contacte o encarregado para que este se desloque ao local e recolha o seu filho, uma vez que o transporte não consegue prosseguir com a viagem.

No que concerne à organização operacional, quando um motorista falta, uma única carrinha passa a realizar duas rotas, transportando os alunos da sua rota habitual e os da rota atribuída ao motorista ausente. Não há troca de motoristas entre rotas, salvo em casos de ausência justificada. Todo o processo, desde o registo de motoristas, acompanhantes escolares, alunos, rotas, alocações de rotas a motoristas é feito de forma manual, em papel, sem qualquer suporte digital, o que limita o controle, a segurança e a eficiência da gestão do transporte escolar. Os encarregados é que lidam com os assuntos relacionados do transporte escolar e não os alunos.

Arquitectura actual

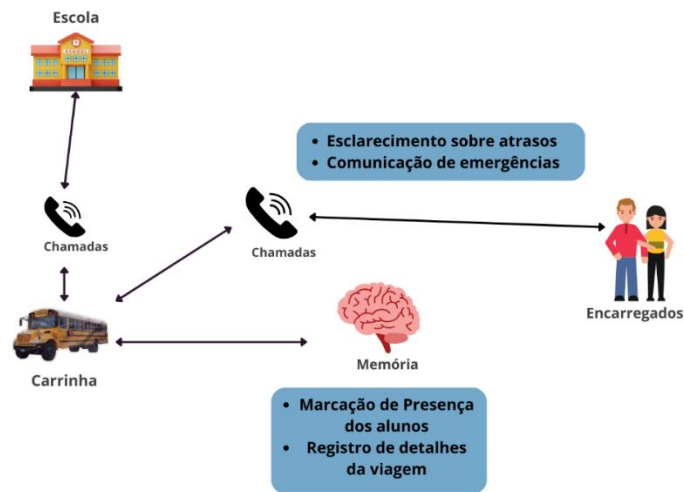


Figura 6: Arquitectura actual.

4.2 Descrição do Modelo Proposto

Na presente secção é descrita o modelo proposto, dado que o modelo actual não é muito eficiente no que diz respeito a monitoria, fluxo de comunicação e gestão do transporte escolar.

O objectivo do modelo de proposto é de fechar as lacunas existentes no modelo actual do transporte escolar.

Para tal, a solução proposta foi desenvolvida em dois módulos principais:

- Plataforma *web*: Voltada para a administração escolar com *interface* de gestão;
- Aplicação *Mobile*: Destinado a carrinha, encarregados de educação ou alunos, com funcionalidades para cada perfil;

Também foram integrados Algoritmos de Inteligência Artificial para:

- Optimização das rotas;
- Cálculo da estimativa do tempo de chegada (ETA);

Para garantir que o sistema atenda às necessidades dos utilizadores, as funcionalidades foram organizadas por perfil, apresentados a seguir:

A administração escolar, através do sistema é capaz de:

- Cadastrar e gerir dados dos veículos, motoristas, rotas;
- Monitorar em tempo real as carrinhas escolares, assim como, ver a lista de presença dos alunos;
- Obter notificações em tempo real sobre incidentes, atrasos ou qualquer evento que possa ocorrer.
- Comunicar-se com os encarregados de educação e a carrinha escolar, assim como, enviar comunicados por meio de um só canal;
- Visualizar as avaliações feitas pelos pais;

A carrinha escolar, por intermédio do sistema é capaz de:

- Marcar presenças dos alunos;
- Receber avisos sobre a recolha antecipada dos alunos;
- Comunicar-se com a administração escolar.
- Relatar incidentes, atrasos ou qualquer outro evento que possa ocorrer.
- Optimizar rotas com o uso da Inteligência Artificial.
- Registrar os dados relativos a cada viagem como hora de partida, chegada e quilómetros percorridos.
- Visualizar histórico das viagens realizadas.
- Fornecer a localização da carrinha escolar;
- Calcular a estimativa do tempo de chegada (ETA);

Os Alunos/pais, através do sistema são capazes de:

- Visualizar em tempo real a localização da carrinha escolar;
- Visualizar a estimativa do tempo de chegada (ETA) ao ponto de recolha ou descarga;
- Obter notificações automáticas sobre incidentes, recolha, descarga, avaria ou atrasos, bem como notificações quando a carrinha está próxima;
- Avaliar as viagens realizadas;
- Notificar a carrinha sobre a recolha antecipada;
- Comunicar-se com a carrinha ou a administração escolar.

Arquitectura do Modelo Proposto

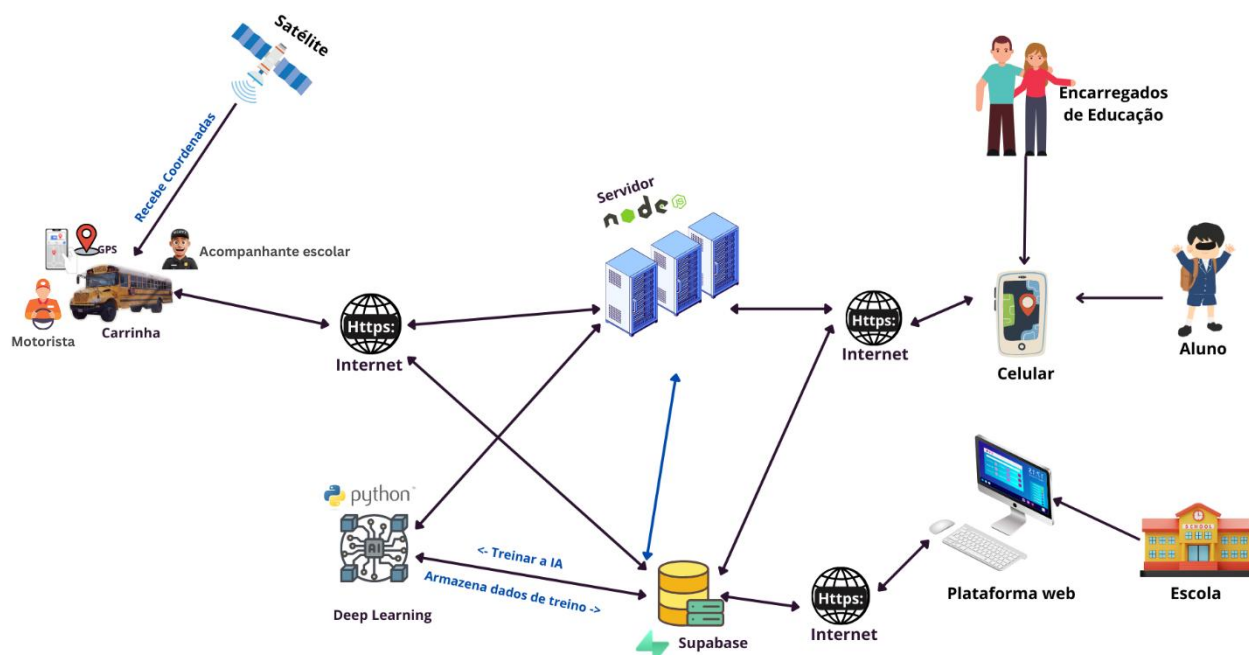


Figura 7: Arquitectura do modelo proposto.

4.2.1 Descrição da Arquitectura do Sistema

A arquitectura proposta para o sistema de gestão e monitorização do transporte escolar foi concebida de forma modular (arquitectura em camadas). Os principais componentes são: aplicações móveis (*Expo/React Native*), plataforma *web* (*React.js*), banco de dados Supabase, servidor intermediário *Node.js* e módulo de Inteligência Artificial desenvolvido em *Python*.

Camada de Aplicação

- **Aplicação Móvel (*Expo/React Native*):** utilizado pelos motoristas/acompanhantes, alunos ou encarregados de educação. Permite funcionalidades como registro de presença, monitorização em tempo real, recebimento de notificações e consulta da previsão de chegada (ETA).
- **Plataforma *Web* (*React.js*):** destinada às escolas, possibilitando acompanhamento centralizado das rotas, gerenciamento de motoristas, veículos e análise de relatórios.

Camada de Dados

Supabase: actua como banco de dados central do sistema, armazenando todas as entidades relacionadas ao transporte escolar. Além disso, fornece autenticação e gerenciamento de perfis de utilizadores.

A escolha do *Supabase* foi motivada por diversos fatores:

- **Localização em tempo real:** suporta actualizações em tempo real (Realtime), permitindo rastrear continuamente a posição das viaturas e informar imediatamente a escola e encarregados de educação.
- **Facilidade de integração:** oferece *API RESTful* e suporte a *WebSockets*, facilitando a comunicação instantânea entre *front-end* e *back-end*.
- **Backend completo:** combina banco de dados *PostgreSQL*, autenticação, funções *serverless* e armazenamento de arquivos, reduzindo a necessidade de gerenciar múltiplos serviços separadamente.
- **Escalabilidade e manutenção:** como solução *cloud*, dispensa a administração directa de servidores e infra-estrutura, reduzindo o tempo e complexidade operacional.
- **Open-source e compatível com PostgreSQL:** garante flexibilidade para ajustes e consultas avançadas, aproveitando o ecossistema *PostgreSQL*.

Em comparação:

- **PostgreSQL auto-hospedado (on-premises ou cloud):** oferece controle total sobre a infraestrutura, mas exige configuração, manutenção de servidores e backup, além de demandar soluções adicionais para implementar funcionalidades em tempo real.
- **Firestore:** fornece autenticação e banco de dados NoSQL em tempo real, mas possui limitações em consultas complexas e relacionamentos estruturados de dados, essenciais para o modelo de transporte escolar.

Camada de Processamento Intermediário

Servidor Node.js: responsável por tarefas que não podem ser realizadas directamente pelos clientes ou pelo banco de dados. Suas funções incluem:

- **Integração com APIs externas** (*Google Maps*) para obtenção de dados de tráfego, cálculo de rotas e estimativa de tempo de chegada.

- **Processamento de dados sensíveis ou complexos**, evitando que chaves de API fiquem expostas no cliente.
- **Optimização em tempo real**: o Node.js pode accionar o módulo de IA em Python ou aplicar regras de negócio antes de retornar respostas para a aplicação.
- **Persistência**: após o processamento, grava os resultados no Supabase para que todos os clientes possam acessá-los de forma unificada.

Camada de Inteligência Artificial

O módulo de **Inteligência Artificial (IA)**, desenvolvido em Python, é responsável pelo treino e execução dos modelos de aprendizagem de máquina, com o objectivo de prever o tempo de chegada (ETA) das carrinhas escolares e otimizar as rotas de forma dinâmica.

O módulo de IA acede directamente ao **Supabase** para leitura dos dados de treino e armazenamento dos resultados das predições, beneficiando-se de uma infra-estrutura **cloud-native**, escalável e gerida automaticamente. Por ser uma solução *cloud*, o *Supabase* suporta crescimento no volume de dados e no número de usuários sem necessidade de reconfiguração complexa, permitindo que a IA continue a processar dados de múltiplas escolas simultaneamente. A escalabilidade é garantida pelo *Supabase* através de balanceamento de carga, suporte a múltiplas conexões simultâneas e capacidade de crescimento vertical e horizontal, permitindo que o sistema suporte um número crescente de veículos, rotas e utilizadores sem degradação do desempenho.

A gestão de dados em tempo real é assegurada pelo uso do Node.js como intermediário entre as aplicações cliente (móvel e web) e o módulo de IA. Por meio de *websockets* e consultas assíncronas ao Supabase, as aplicações recebem actualizações instantâneas sobre a localização das carrinhas, tempos estimados de chegada (ETA) e rotas optimizadas.

4.2.2 Testes de Validação do Sistema

Para garantir que o modelo proposto atende às necessidades reais das escolas, foram realizados testes abrangentes, envolvendo motoristas, encarregados/alunos e direcções escolares. Devido à indisponibilidade da Aga Khan *Academy*, não foi possível realizar os testes com esta instituição.

Portanto, todos os testes práticos foram conduzidos na Maputo *International College*. Estes testes utilizaram dados reais recolhidos durante o acompanhamento das carrinhas escolares e tiveram como objectivo verificar se o sistema permite comunicação eficiente entre os diferentes perfis de utilizadores, fornece informações precisas em tempo real e atende às expectativas operacionais. Um total de 4 motoristas, 6 encarregados de educação e membros da administração escolar participaram nos testes.

Foram realizados três tipos principais de testes: funcionais, de usabilidade e de desempenho, complementados por uma metodologia de testes em campo.

Testes Funcionais

Os testes funcionais concentraram-se em assegurar o correcto funcionamento das operações críticas do sistema, com atenção especial às funcionalidades utilizadas nas escolas, a saber:

Para a administração escolar

- Monitorar em tempo real as carrinhas escolares e consultar a lista de presença dos alunos;
- Receber notificações em tempo real sobre incidentes, atrasos ou outros eventos;
- Comunicar-se com os encarregados de educação e com a carrinha escolar.

Para a carrinha escolar

- Marcar presenças dos alunos;
- Receber avisos sobre recolha antecipada dos alunos;
- Comunicar-se com a administração escolar ou com os encarregados de educação;
- Relatar incidentes, desvios, atrasos ou quaisquer eventos;
- Optimizar rotas com o uso da Inteligência Artificial;
- Fornecer a localização da carrinha escolar;
- Calcular a estimativa do tempo de chegada (ETA);

Para alunos/pais

- Visualizar em tempo real a localização da carrinha escolar;
- Visualizar a estimativa do tempo de chegada (ETA) ao ponto de recolha ou descarga;
- Receber notificações automáticas sobre incidentes, recolha, descarga, avarias ou atrasos, bem como alertas quando a carrinha está próxima;
- Notificar a carrinha sobre recolha antecipada;
- Comunicar-se com a carrinha ou a administração escolar.

Todos os testes funcionais foram realizados com dados reais, garantindo a coerência dos resultados e a validação das funcionalidades essenciais do sistema.

Testes de Usabilidade

Foram conduzidas sessões experimentais com motoristas, encarregados/alunos e direcção escolar, avaliando:

- Clareza e organização da *interface*;
- Facilidade de navegação entre módulos e funcionalidades;
- Utilidade das notificações automáticas e das previsões de tempo de chegada (ETA);

O *feedback* obtido serviu para ajustes na *interface*, simplificação dos fluxos de interacção e melhoria da experiência do utilizador, tornando o sistema mais intuitivo e adaptado ao contexto escolar.

Testes de Desempenho

Os testes de desempenho avaliaram a estabilidade, eficiência e consumo de recursos do sistema:

- Tempo médio de resposta entre envio e recepção de dados de localização (actualização de 5 segundos);
- Precisão das coordenadas GPS fornecidas em tempo real;
- Consumo de dados móveis durante o rastreio contínuo;
- Estabilidade da aplicação com múltiplos veículos e utilizadores conectados simultaneamente.

Os resultados indicaram boa estabilidade e desempenho satisfatório, demonstrando que o sistema opera de forma confiável, mesmo com múltiplos utilizadores e veículos activos, embora o desempenho dependa da qualidade da rede móvel disponível.

Metodologia de Testes em Campo

A validação prática do sistema foi realizada em duas instâncias principais, com os utilizadores previamente treinados para garantir o correcto uso das funcionalidades:

- **Testes em percurso real da carrinha**

Nesta fase, acompanhou-se as carrinhas escolares utilizando o perfil do motorista na aplicação móvel, com o objectivo principal de observar como este perfil se comporta durante a operação real. Foram executadas todas as funcionalidades do motorista, desde a marcação de presenças, comunicação com administração, registo de incidentes, optimização de rotas, fornecimento de localização em tempo real até ao cálculo de ETA, dando especial atenção à exactidão e

actualização da localização da carrinha, de modo a validar a eficácia do sistema no rastreio em tempo real e na integração com os demais perfis.

Simultaneamente, a administração escolar acessou a plataforma *web*, não apenas pelo perfil de administração, mas também pelo perfil de encarregado/aluno, para observar como a aplicação reage e apresenta informações nesse perfil. A administração monitorava as rotas, acompanhava a lista de presença dos alunos e recebia notificações sobre eventos ou incidentes.

- **Testes com todas as carrinhas simultaneamente**

Nesta fase, todas as carrinhas saíram ao mesmo tempo, utilizando o perfil do motorista, enquanto a administração escolar monitorava todas as rotas simultaneamente, acessando tanto o perfil de administração quanto o de encarregado/aluno. Essa abordagem permitiu avaliar a estabilidade do sistema, o desempenho da actualização em tempo real com múltiplos veículos activos e a eficiência da gestão de rotas em operação completa. Um total de 6 encarregados de educação também acompanhou em tempo real a localização da carrinha e receberam notificações automáticas, permitindo validar a integração entre perfis e a coerência das informações.

Antes do início dos testes com a comunidade escolar, os participantes receberam treino prévio, no qual foram explicadas as funcionalidades do sistema, os procedimentos de utilização de cada perfil e as boas práticas de operação, garantindo que os testes fossem conduzidos de forma eficaz e representativa do uso real do sistema. Para os motoristas e a administração escolar, o treino foi realizado presencialmente, explicando detalhadamente as funcionalidades do sistema, os procedimentos de utilização de cada perfil e as boas práticas de operação. Para os encarregados de educação, devido a questões de disponibilidade e locomoção, foi disponibilizado um vídeo explicativo demonstrando passo a passo o uso da aplicação, permitindo que compreendessem plenamente suas funcionalidades antes da participação nos testes. Além disso, para assegurar a utilização de dados reais, os motoristas efectuaram previamente o mapeamento dos pontos de recolha dos estudantes registrando a latitude e longitude, para garantir que as rotas utilizadas nos testes reflectissem fielmente a operação cotidiana das carrinhas escolares. Após a conclusão dos testes, os encarregados de educação enviaram o seu *feedback* sobre a aplicação, destacando a facilidade de utilização e a utilidade do acompanhamento em tempo real das carrinhas escolares.

Validação do Modelo com *K-Fold Cross-Validation*

A fase de implementação da solução tecnológica exigiu a incorporação de técnicas quantitativas para validar a confiabilidade e a precisão dos modelos de Inteligência Artificial desenvolvidos. A utilização de métodos quantitativos permite que decisões técnicas, como a otimização de rotas, seja baseada em evidências mensuráveis, garantindo robustez e consistência operacional do sistema, complementando a análise qualitativa do estudo.

Além dos testes funcionais, de usabilidade e desempenho, foi realizada uma validação do modelo responsável pela otimização de rotas. Para esse fim, utilizou-se a técnica *K-Fold Cross-Validation*, que consiste em dividir o conjunto de dados em k subconjuntos e treinar o modelo repetidamente, variando os subconjuntos de treino e teste. O uso desta abordagem permite avaliar a generalização do modelo, reduz o risco de sobre ajuste (*overfitting*) e garante que o algoritmo apresenta um desempenho consistente em diferentes configurações de treino.

Neste estudo, foram testados quatro valores de K (3, 5, 7 e 10), e a escolha de $K = 5$ baseou-se na análise de desempenho, que apresentou os menores valores de **MAE** e **RMSE**, indicando que o modelo alcançou maior estabilidade, precisão e capacidade de generalização com essa configuração. Assim, a decisão por $K=5$ garante que o sistema forneça ótimos resultados, fundamentando as decisões técnicas do sistema em dados quantitativos.

K - Fold	MAE	RMSE
3	1.66	1.67
5	1.39	1.55
7	1.55	1.59
10	1.52	1.61

Tabela 1: Desempenho do modelo

Limitações do Modelo Proposto

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos durante os testes de validação, o sistema proposto apresenta algumas limitações práticas e técnicas que podem influenciar o seu desempenho em ambientes reais de operação.

- Dependência da Conectividade Móvel

O sistema depende fortemente da qualidade da rede móvel para o envio e actualização em tempo real das localizações dos veículos. Em zonas com fraca cobertura de internet ou instabilidade de rede, podem ocorrer atrasos na transmissão dos dados de localização e nas notificações enviadas aos encarregados de educação.

- Utilização de Dispositivos Pessoais (*Smartphones* dos Motoristas)

A solução baseia-se no uso de *smartphones* dos motoristas para a recolha e partilha contínua de dados de GPS. Essa abordagem reduz custos de implementação, mas pode gerar limitações relacionadas ao consumo elevado de bateria e disponibilidade do dispositivo.

- Consumo de Dados e Custos Operacionais

A monitoria contínua, associado à comunicação com o servidor e à actualização do mapa em tempo real, implica consumo constante de dados móveis. Este factor pode representar um custo adicional para as escolas ou para os motoristas, exigindo um plano de dados adequado para garantir o funcionamento ininterrupto do sistema.

- Necessidade de Capacitação Técnica

A gestão e manutenção do sistema exigem competências básicas em tecnologias digitais por parte dos motoristas e da equipa administrativa. Em alguns contextos escolares, essa necessidade pode constituir uma barreira inicial de adopção, exigindo formações introdutórias e suporte técnico contínuo.

4.3 Requisitos do Modelo Proposto

Na presente secção, são apresentados os requisitos do sistema sob forma de tabelas, estando organizados em duas categorias principais, a destacar:

- **Requisitos Funcionais (RF):** São as funções específicas que o sistema deve executar.
- **Requisitos Não Funcionais (RNF):** Restrições ou qualidades que o sistema deve garantir.

4.3.1 Requisitos Funcionais

São apresentados os requisitos funcionais do sistema.

Código	Descrição
Administração Escolar	
RF01	Cadastrar e gerir dados de veículos, motoristas, rotas e alunos.
RF02	Monitorar em tempo real as carrinhas escolares e a lista de presenças dos alunos.
RF03	Receber notificações automáticas sobre incidentes, desvios, atrasos ou emergências.
RF04	Comunicar-se com motoristas, encarregados de educação e/ou alunos
RF05	Visualizar relatórios de desempenho das viagens e dos motoristas
RF06	Consultar as avaliações feitas pelos encarregados de educação.
Motorista	
RF07	Registrar a presença dos alunos

RF08	Receber avisos sobre a recolha antecipada dos alunos pelos pais ou sobre a não utilização do transporte escolar
RF09	Comunicar-se com a administração escolar, encarregados de educação e/ou alunos
RF10	Reportar incidentes durante o trajecto.
RF11	Optimizar rotas com recurso a Inteligência Artificial
RF12	Registrar dados da viagem como hora de partida, hora de chegada e quilómetros percorridos.
RF13	Gerar relatórios automáticos da viagem
RF14	Fornecer a localização da carrinha em tempo real
RF15	Calcular e apresentar a estimativa do tempo de chegada (ETA)
Encarregados de Educação e Alunos	
RF16	Visualizar em tempo real a localização da carrinha
RF17	Consultar a estimativa do tempo de chegada (ETA) ao ponto de recolha ou descarga
RF18	Receber notificações automáticas sobre recolha, chegada, atrasos, avarias ou emergências
RF19	Avaliar o serviço do transporte escolar
RF20	Notificar antecipadamente ao motorista/escola sobre a não utilização do transporte escolar.
RF21	Comunicar-se directamente com a administração escolar e motorista.

Tabela 2: Requisitos funcionais

4.3.2 Requisitos Não Funcionais

São apresentados os requisitos não funcionais do sistema.

Código	Descrição
RNF01	O sistema deve ter um tempo de resposta curto
RNF02	O sistema deve suportar os sistemas operacionais Android e iOS
RNF03	A comunicação em tempo real deve ter um tempo de resposta inferior a 6 segundos
RNF04	O sistema deve apresentar baixa latência mesmo com múltiplos utilizadores em simultâneo
RNF05	O sistema deve efectuar <i>backups</i> automáticos diários
RNF06	O sistema deve apresentar uma <i>interface</i> intuitiva e clara por forma a garantir boa experiência do utilizador.

Tabela 3: Requisitos não funcionais

4.4 Diagramas

Nesta seção, apresentam-se os diagramas que ilustram a arquitetura, os fluxos de informação e a interação entre os diferentes componentes do sistema de gestão e monitorização do transporte escolar.

Diagrama Caso de Uso

Representa as interações entre os diferentes perfis de utilizadores e as funcionalidades do sistema.

Segurança das Integrações Externas e Controlo de Acesso à Base de Dados

Relativamente às integrações externas utilizadas no sistema, nomeadamente a *Google Maps API*, a biblioteca *Google OR-Tools* e os modelos de Aprendizagem de Máquina, a arquitectura proposta foi concebida com particular enfoque na segurança das chaves de acesso, no isolamento da lógica sensível e no controlo rigoroso do acesso aos dados.

Protecção das chaves de API

As chaves de acesso aos serviços externos, em especial à *Google Maps API*, **não são expostas nas** aplicações cliente (web ou móvel). Estas encontram-se armazenadas de forma segura sob a forma de variáveis de ambiente nos componentes do lado do servidor, designadamente no *backend* desenvolvido em Node.js e no módulo de Inteligência Artificial implementado em *Python*.

As comunicações com os serviços externos são realizadas exclusivamente no lado do servidor, o que assegura que:

- as chaves de API não possam ser inspeccionadas, capturadas ou reutilizadas pelos utilizadores finais;
- a lógica de cálculo do tempo estimado de chegada (ETA), bem como os processos de optimização de rotas, permaneçam devidamente protegidos;

No que respeita ao *Google OR-Tools* e ao modelo de *Random Forest*, por se tratarem de bibliotecas executadas localmente no ambiente do servidor, não existe exposição de credenciais externas, o que contribui adicionalmente para a segurança e controlo dos algoritmos utilizados.

Autenticação e autorização no acesso à base de dados

O acesso à base de dados é assegurado pelo *Supabase*, o qual disponibiliza mecanismos integrados de autenticação, autorização e controlo de permissões. A autenticação dos utilizadores é realizada através de

tokens JWT (*JSON Web Tokens*) emitidos pelo *Supabase*, permitindo a identificação segura de cada utilizador do sistema.

A autorização é implementada através de políticas de segurança ao nível da base de dados (*Row Level Security*), que definem de forma explícita quais os dados que cada tipo de utilizador pode consultar, inserir ou modificar. Deste modo:

- apenas utilizadores devidamente autenticados podem aceder aos dados do sistema;
- cada perfil de utilizador (encarregado de educação, motorista ou administrador) dispõe de permissões específicas e claramente delimitadas;
- o acesso indevido aos dados é prevenido, mesmo em cenários de tentativa de acesso directo à base de dados.

O *backend* desenvolvido em Node.js actua como camada intermediária, sendo responsável pela validação dos *tokens* de autenticação, pela aplicação das regras de negócio e pela mediação da comunicação entre as aplicações cliente, o módulo de Inteligência Artificial e o *Supabase*. Esta abordagem garante uma separação clara de responsabilidades, reforça a segurança global do sistema e assegura que apenas operações devidamente autorizadas sejam executadas.

Em conjunto, estas estratégias permitem dotar o sistema de um modelo de segurança robusto e coerente, assegurando a protecção das integrações externas e dos dados sensíveis dos utilizadores, sem comprometer a escalabilidade, o desempenho e a fiabilidade da solução proposta.

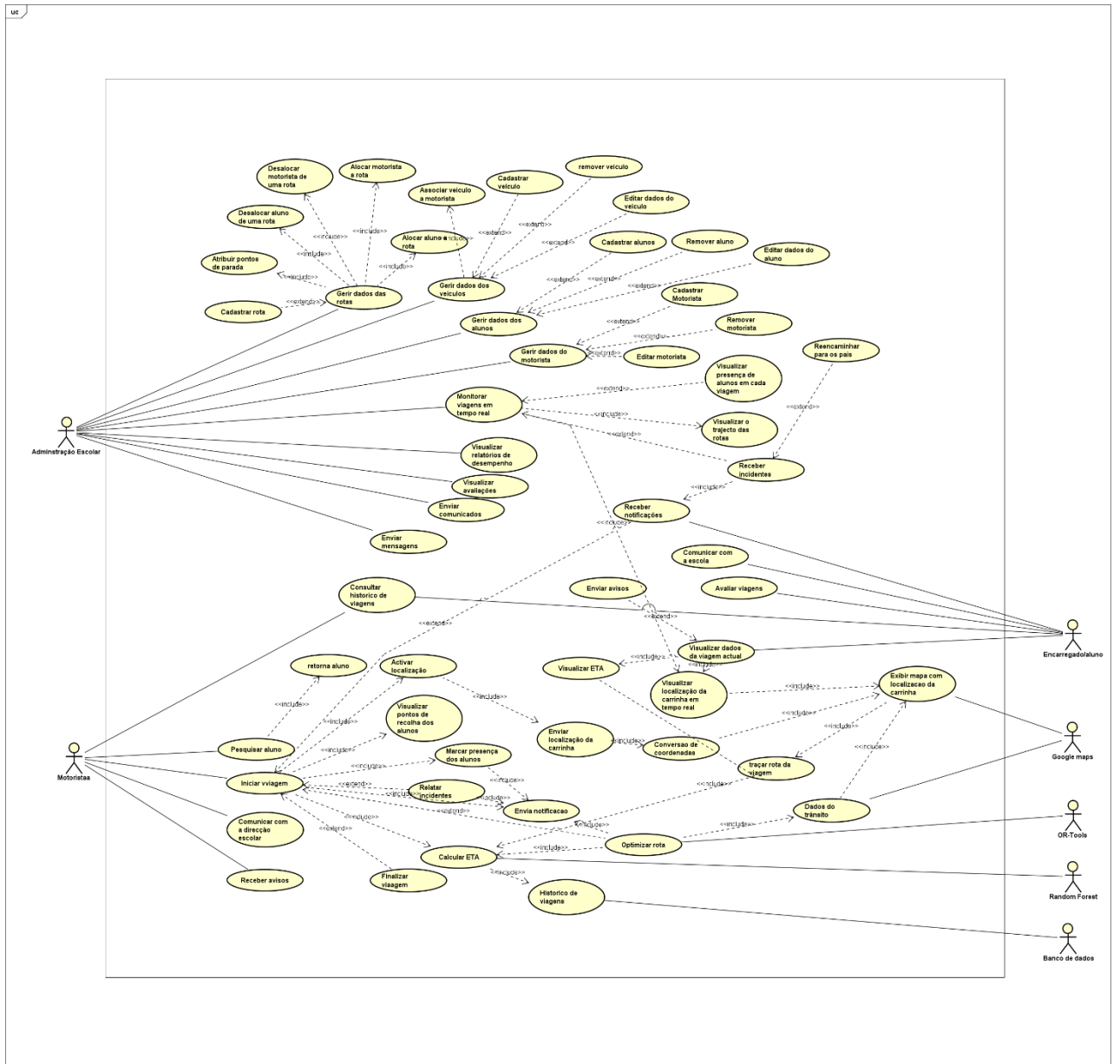


Figura 8: Diagrama de caso de uso.

Diagrama de Classe

Mostra as classes do sistema, seus atributos, métodos e os relacionamentos entre elas.

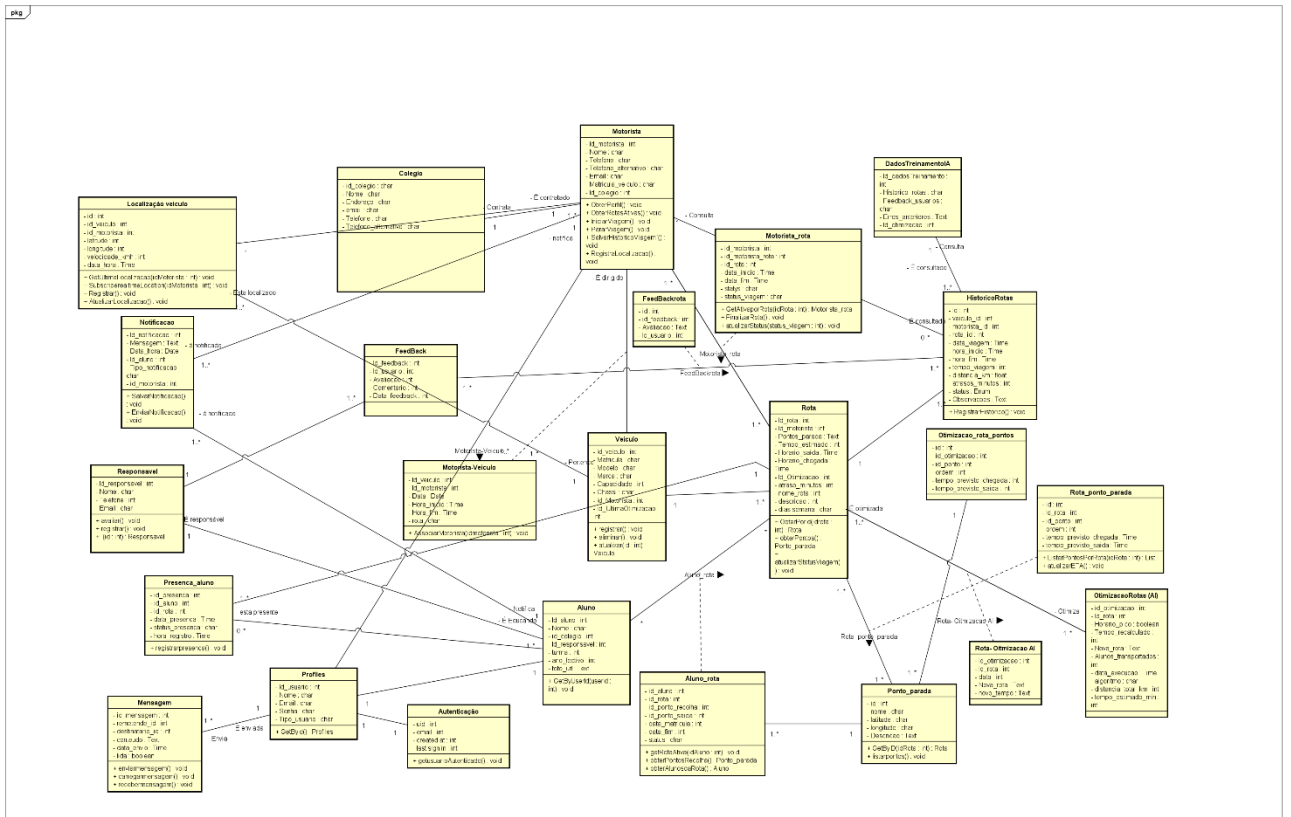


Figura 9: Diagrama de classe.

Diagrama de Estado (Recolher aluno)

Descreve os estados do processo de recolha do aluno, desde o início da rota até o embarque.

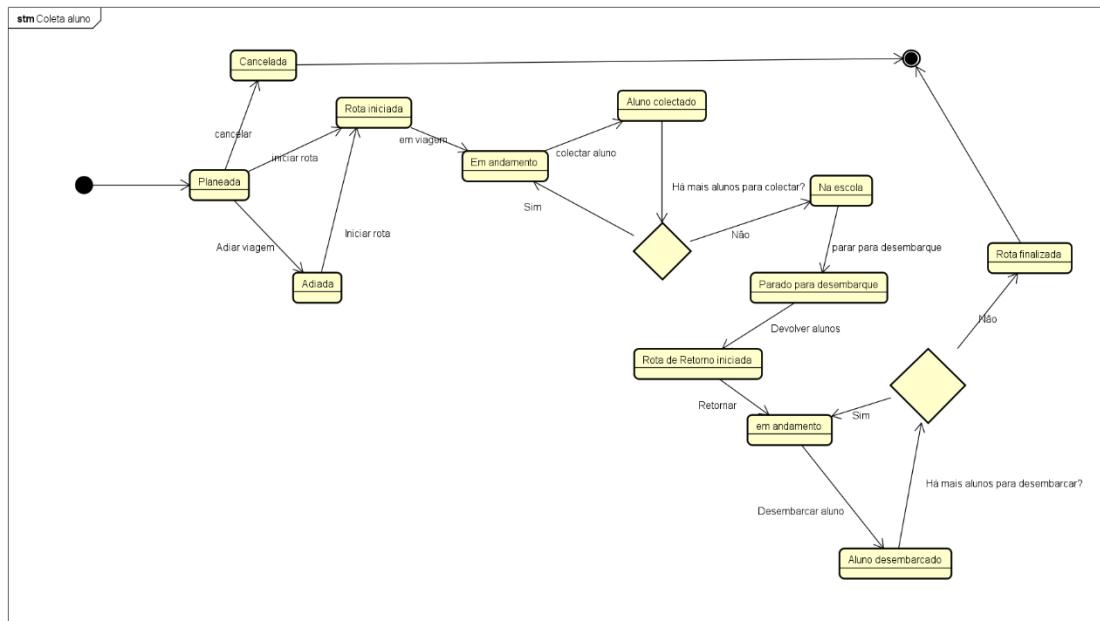


Figura 10: Diagrama de estado recolher aluno.

Diagrama de Estado (Embarcar)

Mostra os estados e transições relacionados ao momento em que os alunos entram na viatura.

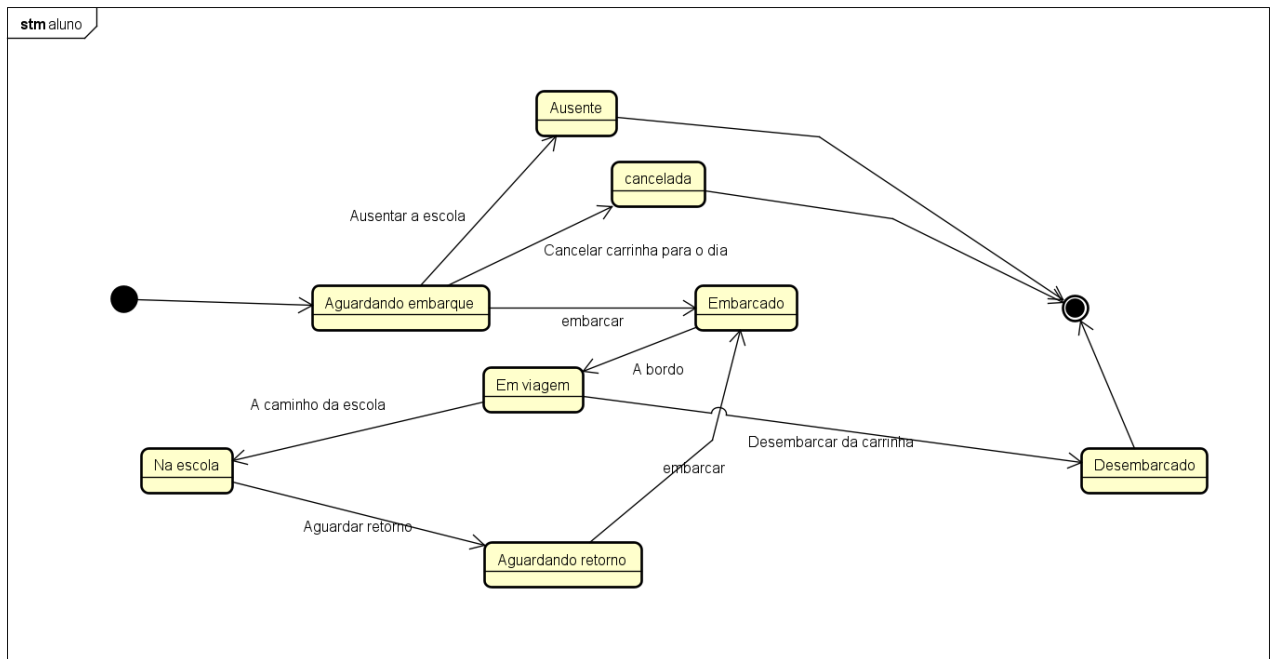


Figura 11: Diagrama de estado embarcar aluno.

Diagrama de Estado (Veiculo)

Representa os diferentes estados operacionais do veículo, como parado, em deslocamento ou avariado.

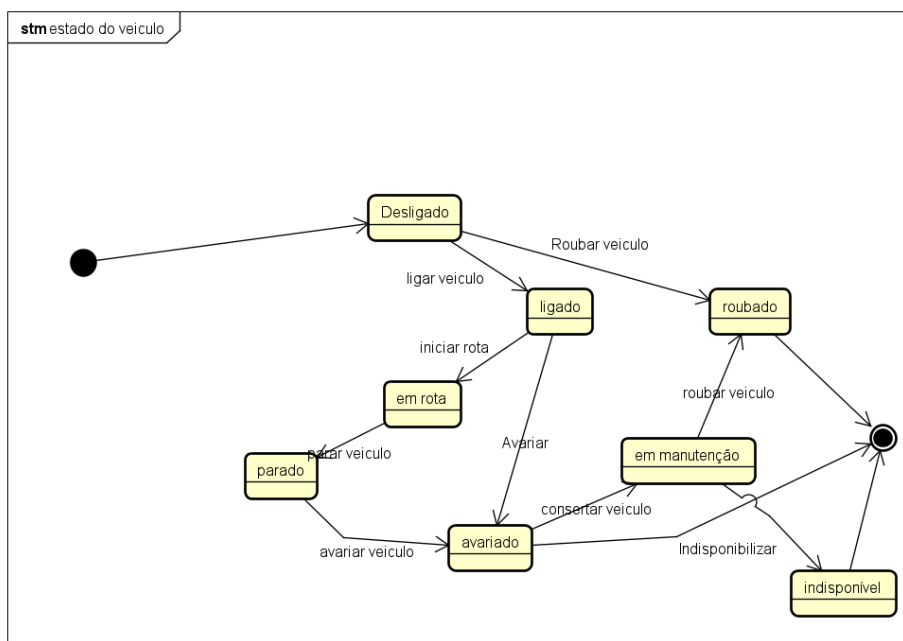


Figura 12: Diagrama de estado do veiculo.

Diagrama de Estado (Mensagem)

Ilustra os estados de envio e recebimento de mensagens.

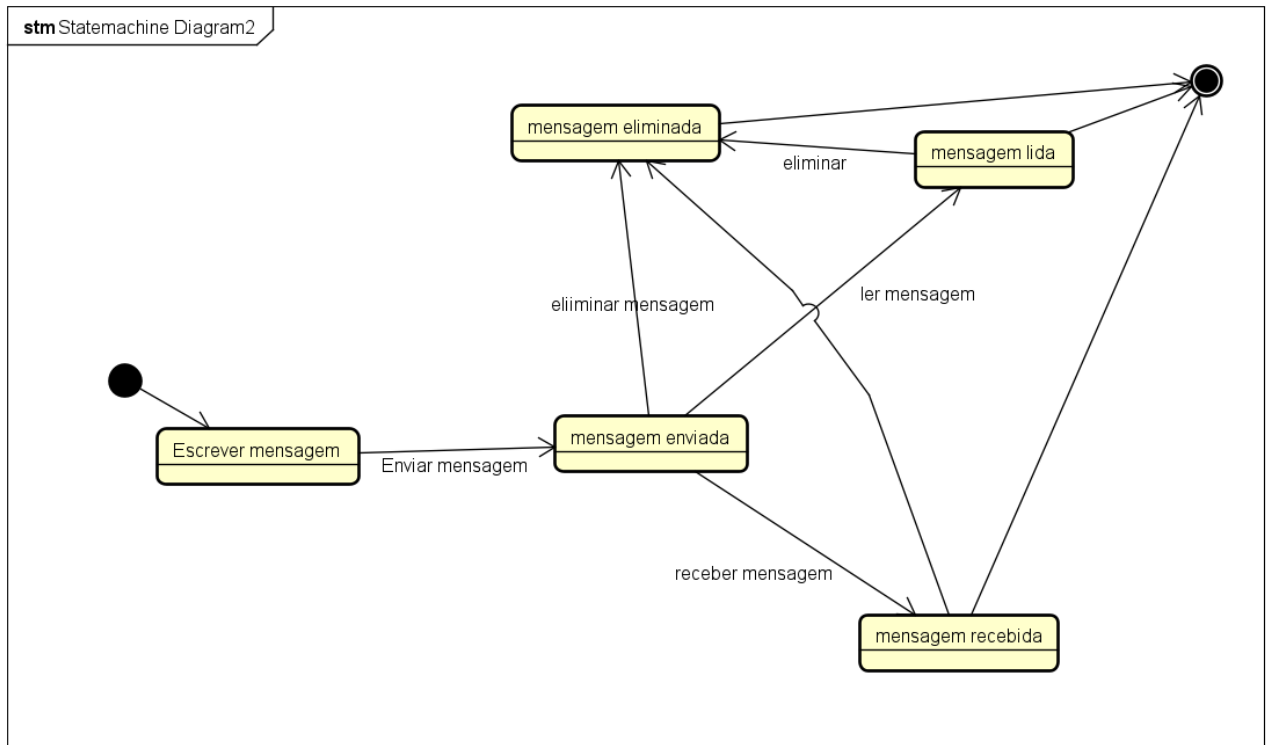


Figura 13: Diagrama de estado mensagem.

Diagrama de Estado (Rota)

Apresenta os estados do processo de gestão e execução das rotas escolares.

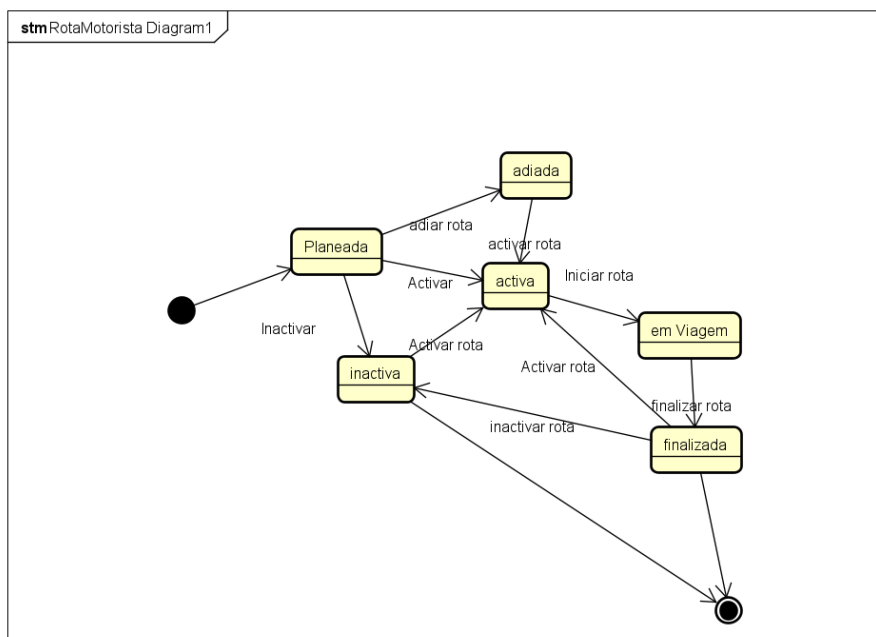


Figura 14: Diagrama de estado rota.

Diagrama de Sequência (Comunicação)

Mostra a sequência de troca de mensagens entre os perfis de utilizadores durante o processo de comunicação.

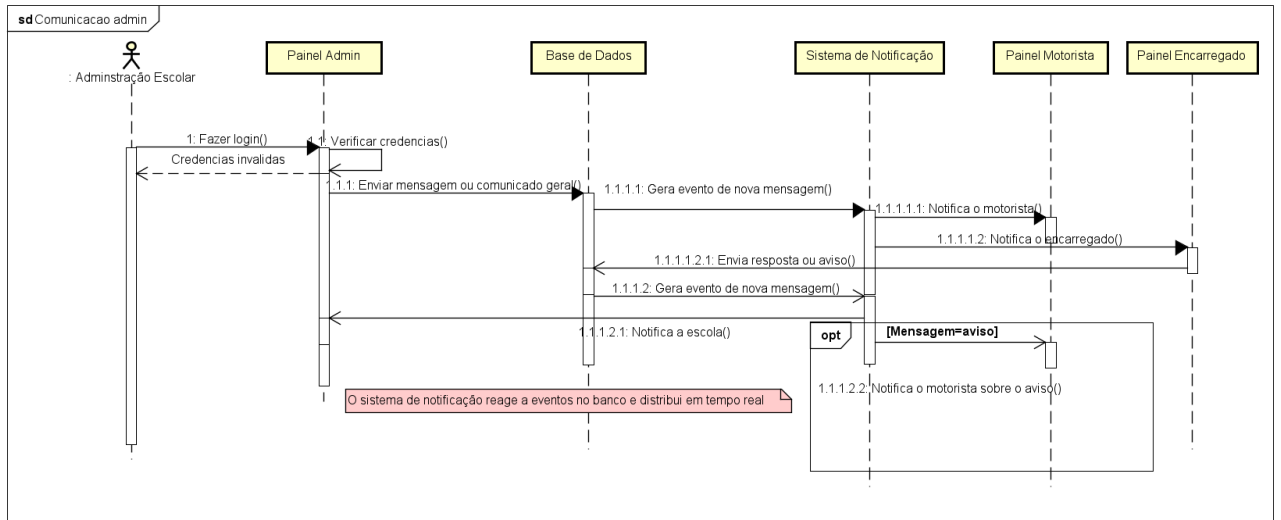


Figura 15: Diagrama de estado comunicação.

Diagrama de sequência (ETA e Optimização de rota)

Representa o fluxo de interações para cálculo do ETA e optimização das rotas das viaturas

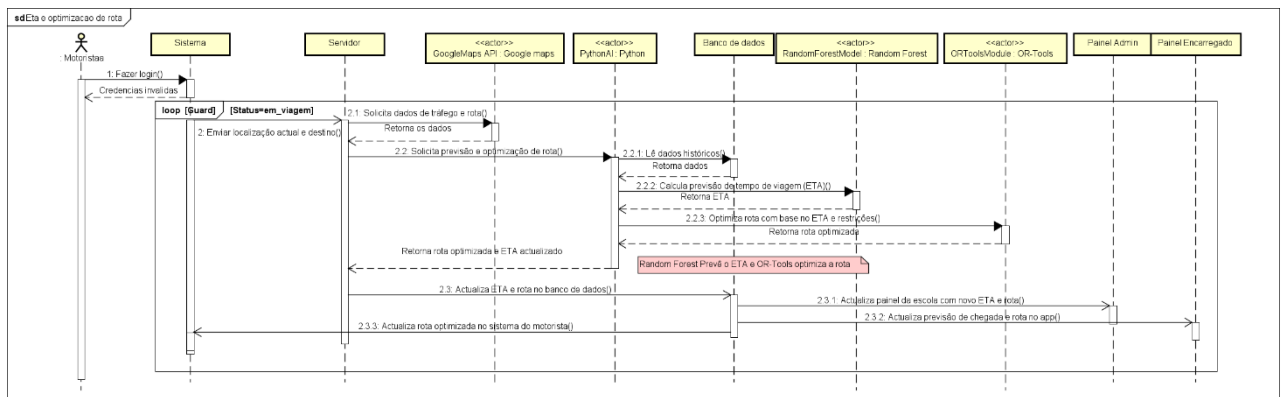


Figura 16: Diagrama de sequência ETA e Optimização de rota.

Diagrama de sequência (Reporte de incidente)

Mostra como incidentes são reportados e processados pelo sistema.

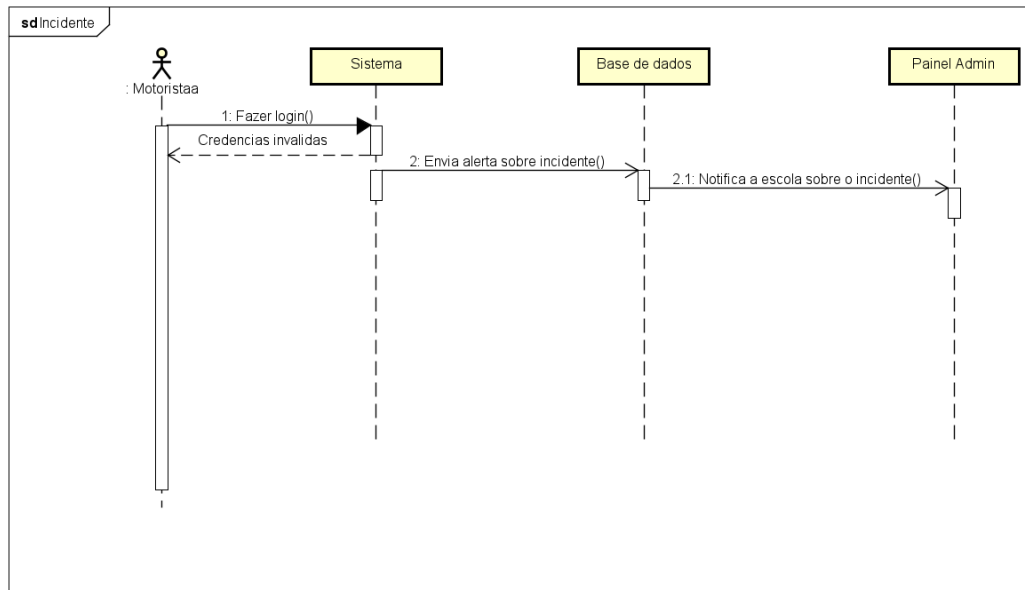


Figura 17: Diagrama de sequência incidente.

Diagrama de sequência (Localização)

Ilustra como as informações de localização das viaturas são transmitidas e actualizadas em tempo real.

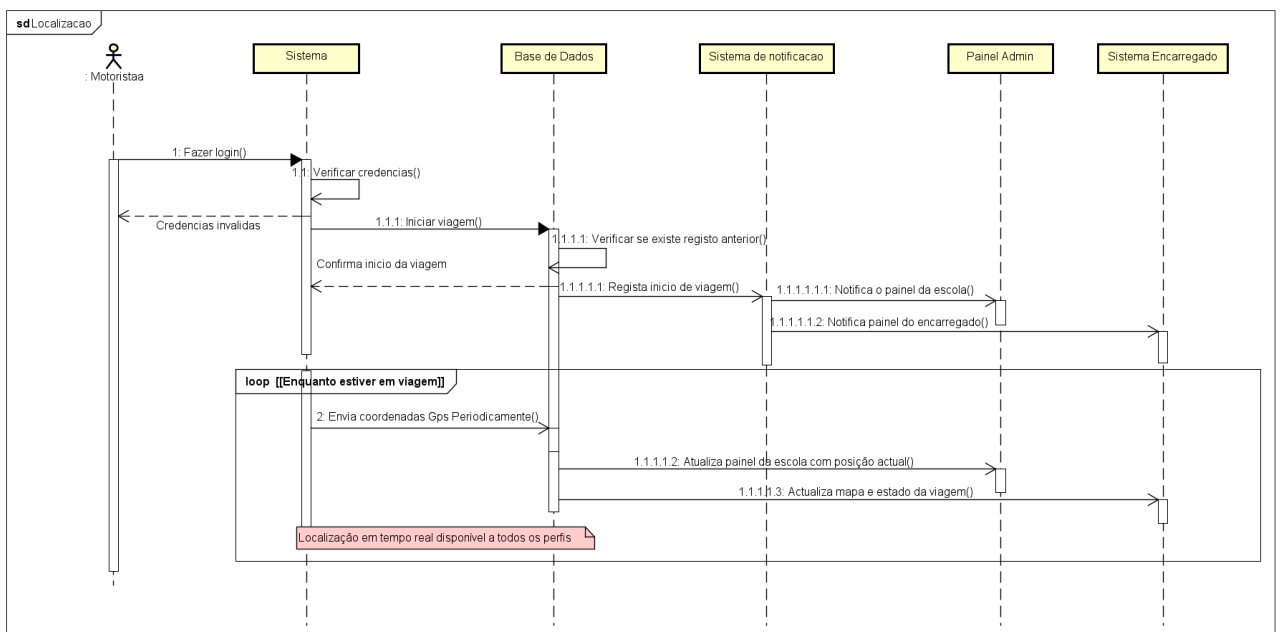


Figura 18: Diagrama de sequência localização.

Diagrama de sequência (Presença)

Representa o fluxo de registro de presenças dos alunos nas viaturas.

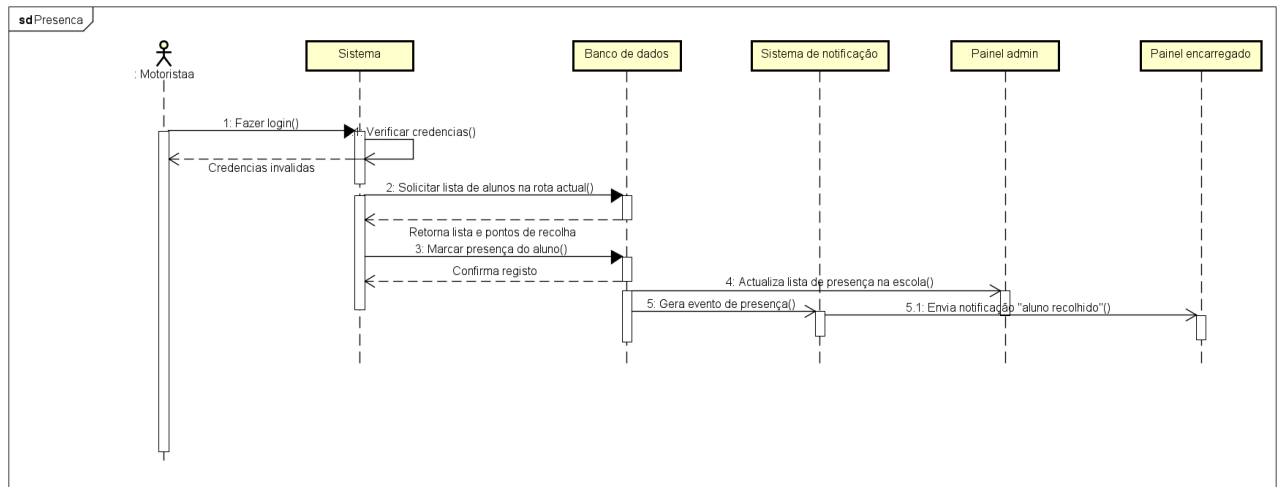


Figura 19: Diagrama de sequência presença

Conclusão e Recomendações

O presente trabalho teve como objectivo central desenvolver uma aplicação móvel para localização e gestão de carrinhas escolares, respondendo à necessidade de modernizar e tornar mais eficiente o sistema de transporte escolar, assegurando maior segurança, transparência e comunicação entre os intervenientes. Durante o processo de investigação, procurou-se compreender em profundidade o funcionamento actual do transporte escolar, as suas fragilidades operacionais e as lacunas existentes nos modelos em uso. A análise efectuada evidenciou problemas recorrentes, tais como a ausência de monitorização em tempo real, dificuldades de comunicação entre escolas, motoristas e encarregados de educação, bem como a falta de mecanismos para gerir e controlar as rotas.

Com base nesse diagnóstico, foi concebido um modelo assente em dois módulos principais: uma plataforma *web*, direccionada à administração escolar, e uma aplicação móvel, voltado para os motoristas, encarregados e alunos. A solução integra ainda módulos de Inteligência Artificial (IA) capazes de analisar o histórico de viagens e as condições de trânsito, de modo a otimizar as rotas e estimar com maior precisão o tempo de chegada das carrinhas escolares.

Os testes realizados demonstraram que o sistema proposto é estável, confiável e adequado ao contexto local, embora ainda dependente da qualidade da conectividade móvel e do custo associado ao uso contínuo do GPS. De modo geral, constatou-se que a solução contribui para melhorar a comunicação e a segurança do transporte escolar, fortalecendo a confiança entre escolas e encarregados de educação assim como alunos.

Deste modo, pode-se concluir que o objectivo geral e todos os objectivos específicos definidos no início da investigação foram plenamente alcançados. O levantamento detalhado do funcionamento do transporte escolar, o mapeamento dos processos operacionais de cada instituição, a estruturação dos fluxos de processos, o desenvolvimento do protótipo funcional e a validação do sistema demonstraram que a solução criada é funcional, aplicável e coerente com as necessidades identificadas nas instituições escolares analisadas.

Embora os resultados obtidos sejam encorajadores, recomenda-se a continuidade do trabalho, de modo a consolidar e expandir a solução desenvolvida. Assim, apresentam-se as seguintes recomendações:

- **Integração com serviços de mensagens (SMS):** Esta funcionalidade permitirá garantir a comunicação mesmo em locais com fraca conectividade à internet, assegurando que os encarregados de educação e alunos recebam notificações sms em tempo útil.
- **Zonas seguras:** Definir áreas de chegada/partida para alunos. O sistema envia alertas automáticos quando a carrinha entra ou sai dessas zonas, aumentando a segurança.
- **Expansão da solução para outras províncias e municípios:** A ampliação do sistema permitirá avaliar o seu comportamento em diferentes realidades urbanas e rurais, contribuindo para a sua consolidação a nível nacional.
- **Integração com câmaras:** Recomenda-se a integração com câmaras das carrinhas escolares, permitindo monitorização visual em tempo real. Isso proporciona maior segurança para os alunos e apoio à verificação de ocorrências relatadas.
- **Aperfeiçoamento do módulo de Inteligência Artificial:** Recomenda-se que futuras versões incorporem factores adicionais, como padrões sazonais de tráfego, de forma a melhorar a precisão das previsões e das rotas sugeridas.

Em suma, o modelo proposto representa um passo importante rumo à digitalização e modernização do transporte escolar em Moçambique, contribuindo não apenas para a melhoria da gestão e segurança das viagens, mas também para a inclusão tecnológica.

Referências

- Alves, A. J., & Gewandsznajder, F. (2001). *O método nas ciências naturais e sociais: Pesquisa quantitativa e qualitativa*. Pioneira.
https://presencial.moodle.ufsc.br/pluginfile.php/686523/mod_resource/content/2/0_metodo_nas_ciencias_naturais_e_sociais_-_pesquisa_quantitativa_e_qualitativa%20-%20Alves-Mazzotti.pdf
- Amalfitano, D., Fasolino, A. R., Tramontana, P., & Robbins, B. (2013). *Testing Android mobile applications: Challenges, strategies, and approaches*. In *Advances in computers* (Vol. 89, pp. 1–52). ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/278196263_Chapter_1_Testing_Android_Mobile_Applications_Challenges_Strategies_and_Approaches
- Abreu, T. F. de. (2008). *Sistema de rastreamento em tempo real* (Trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário de Brasília – FATECS).
<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/123456789/3292/2/20218722.pdf>
- Associação dos transportadores escolares preocupada com a condução dos motoristas. (2016, 28 de julho). *Folha de Maputo*.
<https://www.folhademaputo.co.mz/pt/noticias/nacional/associacao-dos-transportadores-escolares-preocupada-com-a-conducao-dos-motoristas/>
- Boell, S. K., & Cecez-Kecmanovic, D. (2015, March). *What is an information system?* In *Proceedings of the 48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)* (pp. 587–596). Kauaii, Hawaii, USA. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.587>
- Bomfim, M. N. C., & Sampaio, F. F. (2008). *A Web 2.0, suas tecnologias e aplicações educacionais* [Relatório técnico – NCE/UFRJ].
https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/2091/2/02_08_000696295.pdf
- Chirindza, C. (2022, 12 de agosto). Rede de transportes é ainda deficiente na área metropolitana de Maputo [Entrevista com António Matos, Presidente do Conselho de Administração da AMT]. *Diário Económico*. <https://www.diarioeconomico.co.mz/2022/08/12/negocios/rede-de-transportes-e-ainda-deficiente-na-area-metropolitana-de-maputo/>
- Creswell, J. W. (2007). *Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto* (2. ed., L. de O. da Rocha, Trad.). Porto Alegre: Artmed.

- Carrinhas de transporte escolar em Moçambique devem ser amarelas, crianças não podem sentar ao lado do motorista ou na primeira fila. (2019, 31 de maio). *Jornal Verdade*.
<https://verdade.co.mz/carrinhas-de-transporte-escolar-em-mocambique-devem-ser-amarelas-criancas-nao-podem-sentar-ao-lado-do-motorista-ou-na-primeira-fila/>
- Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2012). *How to write a literature review*. *Journal of Criminal Justice Education*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10511253.2012.730617>
- Ershad, A. (2020). *Geographic information system (GIS): Definition, development, applications & components* [Presentation].
ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/340182760_Geographic_Information_System_GIS_Definition_Development_Applications_Components
- Fernandes, A. I. S. (2012). *Estudo comparativo entre interfaces de programação de aplicações de mapas* [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia].
Repositório da Universidade Nova de Lisboa.
<https://core.ac.uk/download/pdf/303718177.pdf>
- Gadade, B., Mulani, A. O., & Harale, A. D. (2024). *IoT based smart school bus and student monitoring system*. *Naturalista Campano*, 28(1), 730-731.
<https://www.museonaturalistico.it/index.php/journal/article/download/138/120/253>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6ª ed.). Editora Atlas
<https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>
- Holdsworth, J., & Scapicchio, M. (2024). *Artificial intelligence and machine learning in real-time system operations (White paper Revision 1)*. North American Electric Reliability Corporation. <https://www.nerc.com/globalassets/our-work/reports/white-papers/whitepaper-ai-and-ml-in-real-time-system-operations.pdf>
- Kim, E., Lin, J. S., & Sung, Y. (2013). *To app or not to app: Engaging consumers via branded mobile apps*. *Journal of Interactive Advertising*, 13(1), 53–65.
https://www.researchgate.net/publication/271626446_To_App_or_Not_to_App_Engaging_Consumers_via_Branded_Mobile_Apps

- Kumari, R., & Srivastava, S. K. (2017). *Machine learning: A review on binary classification*. International Journal of Computer Applications, 160(7), 11–15.
https://www.researchgate.net/publication/313779520_Machine_Learning_A_Review_on_Binary_Classification
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de metodologia científica* (5. ed.). São Paulo: Editora Atlas. https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view
- Mahesh, B. (2019). *Machine learning algorithms – A review*. International Journal of Science and Research (IJSR). <https://doi.org/10.21275/ART20203995>
- Manning, C. G. (2023). What is GPS? NASA. <https://www.nasa.gov>
- Miranda, J. R. de S. (2020). *Transporte escolar: Direito social e garantia de acesso à educação*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, 1(8), 100–106. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/pedagogia/transporte-escolar>
- Mohammed, M., Khan, M. B., & Bashier, E. B. M. (2017). *Machine learning: Algorithms and applications*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/303806260_Machine_Learning_Algorithms_and_Applications
- Mutimucuo, I. (2008). *Módulo: Métodos de investigação, apontamentos [Apontamentos de curso]*. Centro de Desenvolvimento Académico. <https://www.studocu.com/row/document/universidade-eduardo-mondlane/metodologia-de-ensino/modulo-metodos-de-investigacao-2012/103077539>
- Pereira, A. D. dos S., Cordeiro, Y. E. M., & Nascimento, A. W. de S. (2024). *Política pública de transporte escolar: Reflexões sobre avanços, desafios e perspectivas no âmbito federal*. Jornal de Políticas Educacionais, 18, e93981. <https://revistas.ufpr.br/jpe/article/download/93981/52014>
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico* (2ª ed.). Universidade Feevale. <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>
- Radha Krishna, K., Thrimoorthy, N., Bharadwaj, G. N., & Reddy, A. S. K. (2024). *Reduce the amount of push notifications required for ecommerce app*. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT) 12(1), d151. <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2401379.pdf>

- Ribeiro, L. C. (2019). *Algoritmo evolutivo com metodologia híbrida para elaboração de rotas de distribuição* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia]. Repositório Institucional da UFU. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25269>
- Rodrigues, D. F. dos R. (2019). *Optimization of public transport routes by means of AI techniques* [Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa]. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997260001/82506-Daniel-Rodrigues_dissertacao.pdf
- Shaaban, K., Bekkali, A., Ben Hamida, E., & Kadri, A. (2013). *Smart tracking system for school buses using passive RFID technology to enhance child safety*. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 1(2), 191–196.
https://www.researchgate.net/publication/260791266_Smart_Tracking_System_for_School_Buses_Using_Passive_RFID_Technology_to_Enhance_Child_Safety
- Sen, J. (Ed.). (2021). *Machine learning: Algorithms, models and applications* (Vol. 7). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94615>
- Silva, S. Y. T. (2023). *Understanding the difference between supervised and unsupervised learning techniques* [Method]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/373979805_Understanding_the_Difference_Between_Supervised_and_Unsupervised_Learning_Techniques
- Stryker, C., & Kavlakoglu, E. (2024, August 9). *What is artificial intelligence (AI)?* IBM. <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence>
- Veinberg, P. S., & Ayres, F. V. M. (2013). *Um relato de experiência sobre a integração do PrimeFaces com Google Maps API*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). <https://sol.sbc.org.br/index.php/encompif/article/download/16934/16773/>
- Wohllebe, A. (2020). *Consumer acceptance of app push notifications: Systematic review on the influence of frequency*. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*.
https://www.researchgate.net/publication/343658086_Consumer_Acceptance_of_App_Push_Notifications_Systematic_Review_on_the_Influence_of_Frequency
- Yu, B., Lam, W. H. K., & Tam, M. L. (2011). *Bus arrival time prediction at bus stop with multiple routes*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1133–1148.
https://www.researchgate.net/publication/251630818_Bus_arrival_time_prediction_at_bus_stop_with_multiple_routes

Apêndices

Apêndice 1:

Questionário

Administração Escolar

1. Como funciona actualmente o Sistema de transporte Escolar?
2. Como é que são armazenados os dados sobre carrinhas, motoristas, rotas e alunos que usam as carrinhas?
3. Como é que monitoram as carrinhas em tempo real?
4. Têm acesso a relatórios sobre pontualidade dos motoristas, ou das viagens realizadas? Se sim, como são armazenados?
5. Como é que é feita a comunicação hoje em dia com os motoristas e os encarregados/alunos?
6. Em situações de emergência (atrasos, mudança de rotas, avaria) como é que os motoristas notificam a escola e os encarregados/alunos?
7. Quais são os desafios/dificuldades ou situações constrangedoras que enfrentam actualmente?
8. O que gostaria que um sistema de transporte escolar tivesse de funcionalidades?

Apêndice 2:

Motoristas e Acompanhantes escolares

1. Quando um aluno não vai à escola num certo dia, como é informado?
2. Em caso de emergência no meio do caminho, como é que notifica a escola e os encarregados/alunos?
3. Costuma esperar por alunos que foram recolhidos com os pais antecipadamente sem avisar?
4. Tem acompanhante? Se sim, qual é o papel?
5. Como é definido o processo de recolha dos alunos? Qual o critério que usa?
6. Como é feito o registo de presenças na carrinha escolar?
7. Costuma registar informações sobre a viagem como a hora de partida, hora de chegada e quilómetros percorridos?
8. A carrinha esta equipada com dispositivos de GPS?
9. Quais dificuldades/desafios ou situações constrangedoras que enfrenta actualmente e gostaria de mudar?
10. O que gostaria que um sistema de transporte escolar tivesse para ajudar no seu dia a dia?
11. Os alunos usam sempre a mesma carrinha?
12. Há troca de motoristas nas carrinhas?

Apêndice 3:

Encarregados de educação

1. Actualmente, como fica a saber que a carrinha escolar já chegou para buscar o seu filho?
2. Onde é normalmente feita a recolha do seu filho pela carrinha escolar?
3. Quando a recolha é feita na rua, sente preocupação com a segurança do seu filho (raptos, acidentes ou assaltos)?
4. Alguma vez a carrinha chegou e você não se apercebeu de que estava lá?
5. Na sua experiência, a carrinha costuma ser pontual?
6. Quando o seu filho falta à escola, como avisa o motorista?
7. Quando há um atraso, qual é o seu principal motivo de preocupação?
 - Não saber a localização exacta da carrinha
 - Não saber a razão do atraso (trânsito, avaria, etc.)
 - Não saber a previsão de quanto tempo vai demorar
 - Dificuldade em reajustar a minha própria agenda à espera
 - Preocupação com a segurança do meu educando
8. Alguma vez a carrinha teve de esperar pelo seu filho enquanto você ainda o preparava?
9. Gostaria de saber com antecedência a hora exacta em que a carrinha vai chegar?
10. Quando o transporte está atrasado, qual é a sua primeira acção?
 - () Contacto directamente a escola por telefone
 - () Envio uma mensagem no grupo de WhatsApp geral
 - () Contacto directamente o acompanhante/motorista (se tiver o contacto)
 - () Consulto a aplicação de GPS para ver a localização
 - () Aguardo pacientemente, pois sei que a informação chegará
11. Que tipo de notificação automática faria toda a diferença para reduzir a sua ansiedade:
 - () Início/finalização da rota
 - () Aproximação da carrinha ao ponto de recolha/descarga
 - () Registo de presenças
 - () Emergências
 - () Atrasos

12. Se pudesse acompanhar a movimentação e localização da carrinha em tempo real (com o trajecto da rota) através de uma aplicação, acha que seria útil? Por quê?
13. Que dificuldades ou situações constrangedoras já enfrentou no transporte escolar e gostaria que fossem resolvidas?
14. O actual fluxo de comunicação permite ter informação sempre a tempo?
 - () Sempre
 - () As vezes
 - () Raramente
15. Na sua opinião, qual a principal limitação do actual fluxo de comunicação:
 - () A informação chega tarde
 - () Ausência de actualização em tempo real
 - () Mistura de informações com outras conversas
 - () Comunicação não clara

Apêndice 4:

Alunos

O questionário destinado aos alunos foi desenvolvido e submetido aos pré-testes, mas não aplicado na fase de recolha oficial de dados.

1. Actualmente, como é que fica a saber se a carrinha já chegou?
2. Onde costuma ser recolhido pela carrinha escolar?
3. Quando a recolha é feita na rua, não sente receio de estar exposto a raptos, sequestros, acidentes ou assaltos?
4. Já passou por alguma situação em que a carrinha escolar chegou e não se apercebeu?
5. Alguma vez demorou a preparar-se porque não sabia a que horas a carrinha chegaria?
6. A carrinha é sempre pontual?
7. Alguma vez perdeu a carrinha? Qual foi o motivo?
8. Quando falta à escola, como avisa o motorista?
9. A carrinha já ficou à sua espera enquanto ainda se preparava?
10. Gostaria de saber com antecedência a hora exacta a que a carrinha vai chegar?
11. Se pudesse acompanhar a localização da carrinha em tempo real através de uma aplicação, considera que seria útil? Porquê?
12. Que dificuldades ou situações constrangedoras enfrenta actualmente e que gostaria de mudar?

Apêndice 5:

Manual do Utilizador

**Desenvolvimento de Sistema Integrado
Composto por Aplicação Móvel e
Plataforma Web para a Localização e
Gestão do Transporte Escolar em
Maputo**

Autor: Sumeid Ibraimo Chamussidine

Data: 03.11.2025

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Sistema

O presente manual do utilizador descreve o funcionamento do Sistema Integrado de Localização e Gestão do Transporte Escolar, uma solução tecnológica desenvolvida para responder às fragilidades identificadas no transporte escolar em Maputo.

O sistema integrado é uma plataforma composta por uma aplicação móvel e uma *interface web*, concebida para a monitoria das viaturas escolares em tempo real, melhorar a comunicação entre motoristas, encarregados de educação e instituições de ensino, bem como reforçar a segurança e a eficiência operacional das rotas escolares.

1.2 Objectivo do Manual

O objectivo deste manual é orientar os utilizadores na utilização do sistema, apresentando de forma clara e sistematizada as funcionalidades disponibilizadas a cada perfil envolvido no processo de transporte escolar.

1.3 Características da Plataforma

O Sistema foi desenvolvido como uma solução multiplataforma, acessível tanto através de navegadores *web* como de dispositivos móveis Android/IOS.

A plataforma integra tecnologias de localização, Inteligência Artificial para previsão do tempo de chegada e optimização de rotas, monitoria em tempo real e comunicação entre os intervenientes.

Entre as suas principais características destacam-se:

- Acompanhamento em tempo real das viaturas;
- Registo digital de presenças;
- Notificações automáticas para encarregados/alunos e escolas;
- Organização estruturada das rotas;
- Painéis de gestão personalizados para cada entidade;
- Armazenamento centralizado dos dados operacionais.

1.4 Público-Alvo

O Sistema disponibiliza *interfaces* adaptadas às necessidades e responsabilidades de cada tipo de utilizador, permitindo um fluxo de informação eficiente e transparente entre todos os intervenientes do

transporte escolar.

Os perfis contemplados incluem:

- **Motoristas** – responsáveis pela actualização do estado das viagens, pelo registo de presenças e reporte de incidentes durante o trajecto;
- **Alunos/Encarregados de educação** – utilizadores que acompanham o percurso e recebem notificações;
- **Administração escolar** – responsáveis pela gestão das rotas, monitoria e comunicação institucional;

Este conjunto de perfis assegura que o sistema responda às necessidades específicas de cada entidade, contribuindo para um modelo de transporte escolar mais seguro, fiável e tecnologicamente actualizado.

Autenticação do utilizador

É responsável por garantir que apenas utilizadores autorizados acedam ao sistema. Os utilizadores realizam o login com as suas credenciais (email institucional e palavra-passe). O sistema valida o perfil e direcciona o utilizador para o painel correspondente:

- Aluno/Encarregado
- Motorista



School Bus Tracking System

Welcome

Sign Into your Account

Your email address

Your password



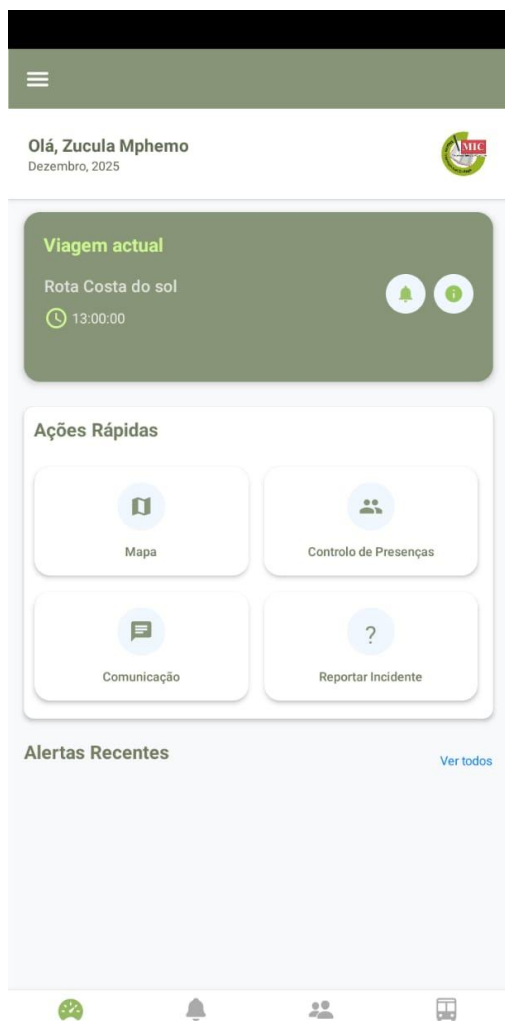
Login

©2025 Maputo International College

Perfil Motorista

Painel Inicial

O Painel Inicial apresenta um resumo claro e imediato sobre a viagem actual do motorista. Através desta tela, o utilizador visualiza o horário previsto de partida, bem como atalhos rápidos que direccionam o utilizador para outras funcionalidades de forma imediata.



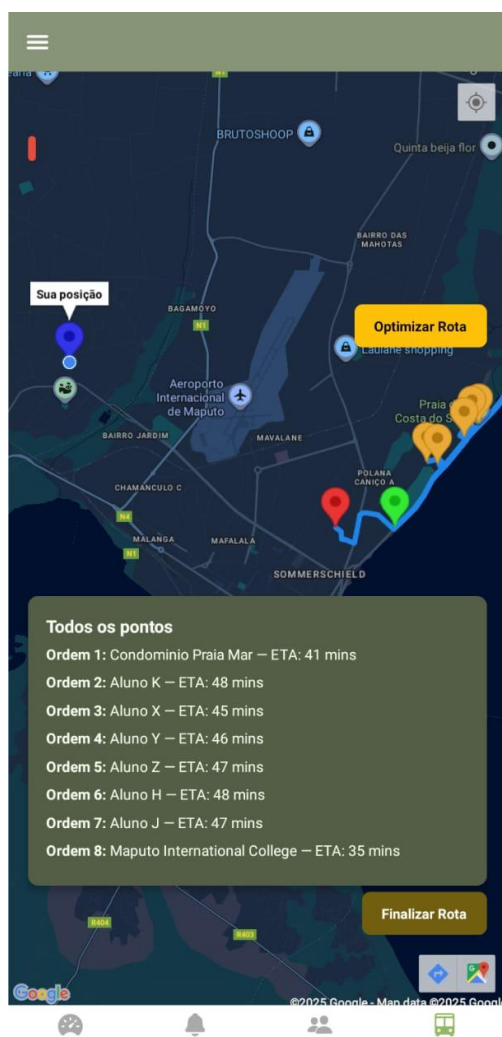
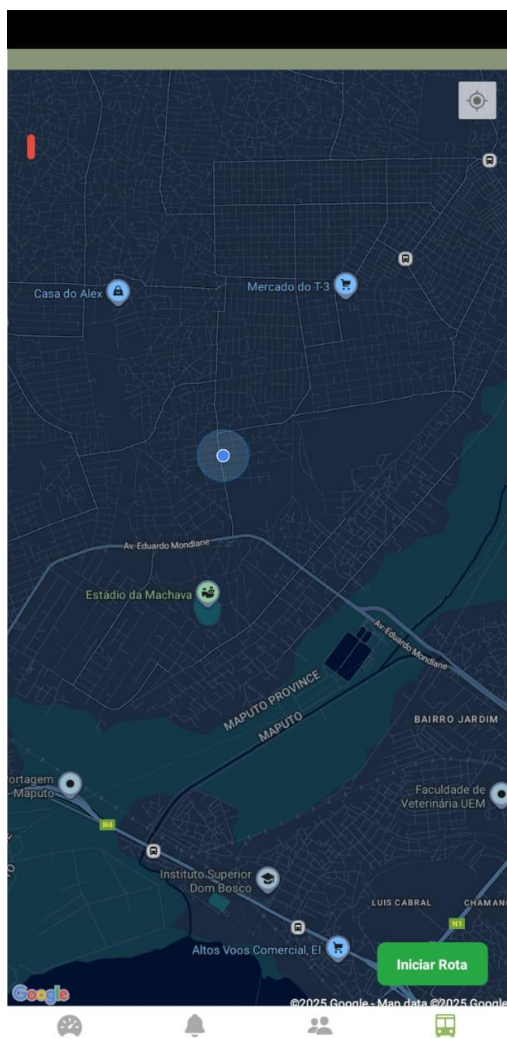
Início da viagem

Após consultar os detalhes da viagem, o motorista inicia o percurso através desta tela.

Nesta secção são apresentados:

- Os pontos que compõem a rota;
- O tempo estimado até cada ponto;
- A ordem de recolha dos alunos;
- O trajecto completo da rota;
- A opção de optimização do percurso.

Esta interface fornece ao motorista uma visão completa do trajecto, garantindo maior precisão e segurança durante a viagem.



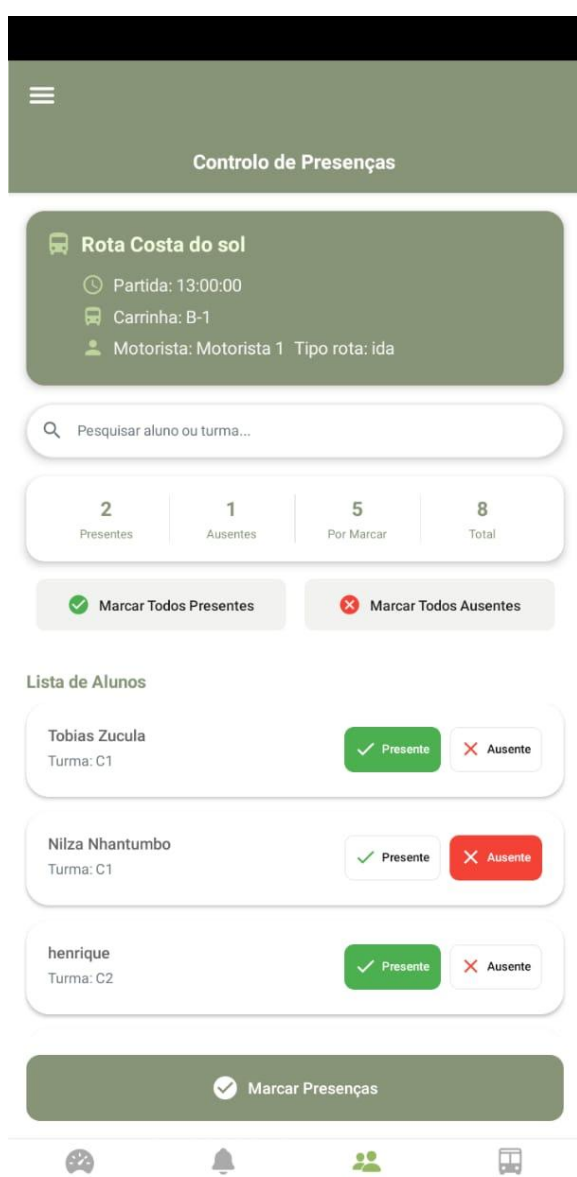
Controlo de presenças

Com a rota iniciada, o motorista pode registar a presença dos alunos directamente na aplicação.

A funcionalidade permite:

- Marcar alunos presentes ou ausentes;
- Consultar o estado actualizado de cada aluno;
- Garantir que os encarregados e a escola recebam actualizações em tempo real.

Este mecanismo melhora a transparência e assegura uma comunicação clara com todos os intervenientes.

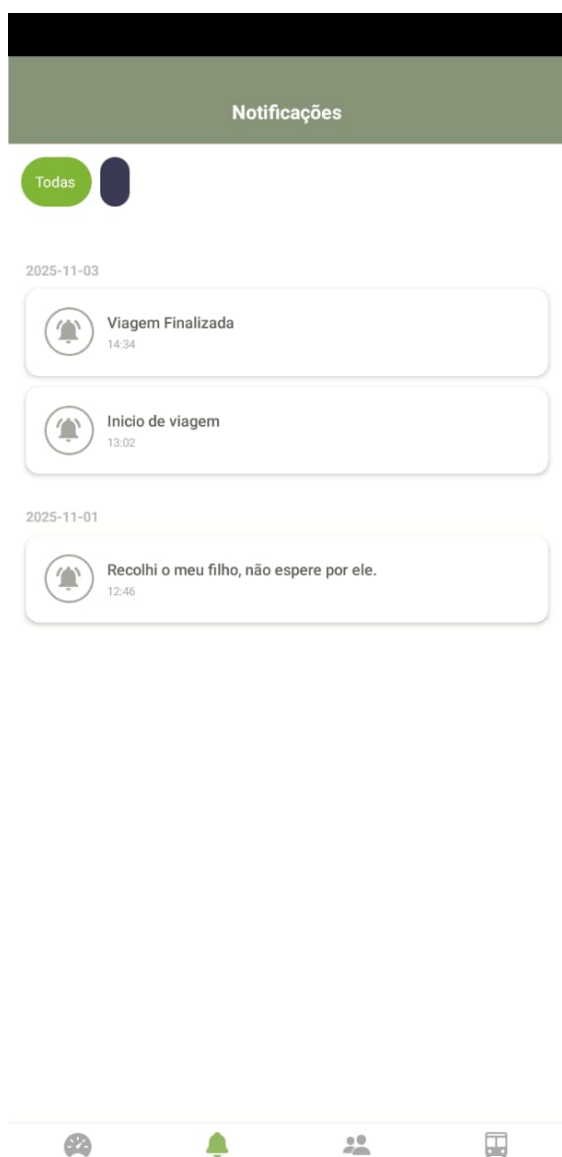


Notificações

O motorista recebe notificações importantes relacionadas à viagem, incluindo:

- Início e finalização da viagem;
- Avisos dos encarregados de educação;
- Comunicação proveniente da escola.

As notificações asseguram que o motorista esteja sempre informado sobre qualquer evento relevante.



Reportar Incidente

Durante o percurso, o motorista pode reportar incidentes à escola.

O formulário de reporte inclui:

- Tipo de incidente;
- Grau de gravidade;
- Localização automática;
- Descrição detalhada.

Esta funcionalidade reforça a segurança e permite que a escola responda de forma adequada a situações inesperadas.

The screenshot shows a mobile application interface for reporting an incident. At the top, there is a dark green header with a back arrow and the text 'Reportar Incidente'. Below the header, the form is organized into several sections:

- Tipo de Incidente:** A grid of six buttons with icons and labels: 'Problema Mecânico' (wrench icon), 'Trânsito Intenso' (traffic icon), 'Condições Meteorológicas' (cloud icon), 'Problema com Aluno' (person icon), 'Desvio de Rota' (diamond with arrow icon), and 'Outro' (question mark icon).
- Nível de Gravidade:** Three buttons labeled 'Baixa' (green border), 'Média' (yellow border), and 'Alta' (red border).
- Localização:** A text input field with the placeholder text 'Onde ocorreu o incidente?'.
- Descrição:** A larger text input field with the placeholder text 'Descreva o incidente em detalhe...'.

At the bottom of the form, there are two buttons: a light gray 'Cancelar' button and a dark green 'Reportar Incidente' button with a right-pointing arrow.

Comunicação

A secção de Comunicação disponibiliza um chat integrado que permite ao motorista comunicar-se com a escola.

O canal facilita:

- Troca rápida de informações;
- Resolução de dúvidas;
- Comunicação de emergências.



Perfil

O Perfil apresenta todos os dados pessoais e profissionais do motorista.

The screenshot shows a mobile application interface for a driver's profile. At the top, there is a dark green header with a white back arrow on the left and the word "Perfil" in white text. Below the header is a white rounded rectangle containing a circular profile picture of a man with a beard and sunglasses. Underneath the picture, the text reads: "Bem-vindo, Zucula Mphemo", "Carta de Condução: Pesados", and "Validade: 2027-06-20".

Below this is another white rounded rectangle with three circular icons in a row. The first icon is a bus, with the number "2" below it and the text "Viagens Realizadas". The second icon is a document with a checkmark, with the number "0.0" below it and the text "Km Percorridos". The third icon is a star, with the number "0.0" below it and the text "Avaliação".

Next is a white rounded rectangle with the title "Informações de Contacto" in green. It contains two entries: "Telemóvel" with the number "874569856" and "E-mail" with the address "zucula@gmail.com".

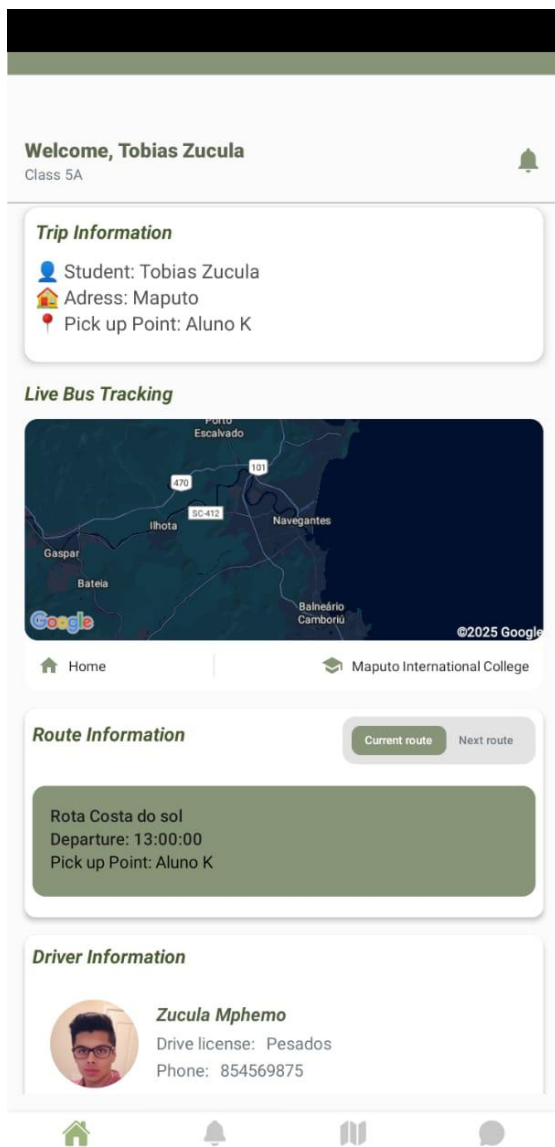
Finally, there is a white rounded rectangle with the title "Informações da Carrinha" in green. It lists four items: "Placa" with "AGE-308-MP", "Modelo" with "Quantum", "Marca" with "Toyota", and "Cor" with "Amarelo".

Perfil do Aluno/Encarregado

Painel inicial

Apresenta, de forma resumida, as principais informações sobre a rota actual do aluno, tais como:

- Ponto de recolha;
- Morada do aluno;
- Dados do motorista responsável;
- Estado actual da viagem.

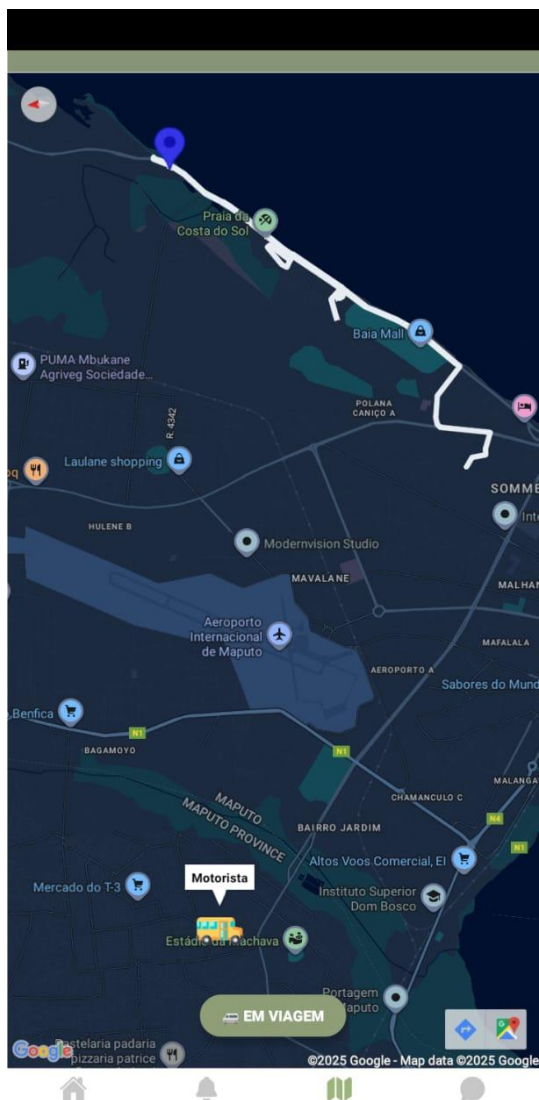


Localização

Esta funcionalidade permite visualizar em tempo real:

- A localização actual da viatura;
- O trajecto previsto;
- O ponto de recolha do aluno;
- O estado da viagem.

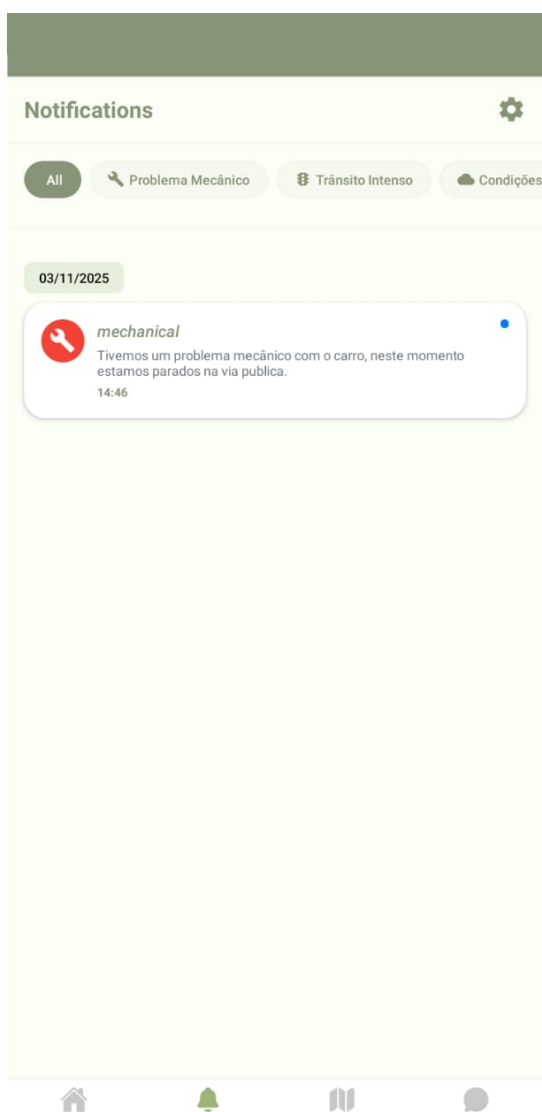
A visualização no mapa oferece maior segurança ao encarregado, permitindo prever a aproximação da viatura.



Notificações

O sistema envia notificações automáticas relativas à viagem, como:

- Início da viagem;
- Marcação de presença;
- Aproximação ao ponto de recolha;
- Finalização;
- Avisos da escola



Histórico e avaliação de viagens

O encarregado pode consultar o histórico das viagens realizadas e avaliar cada viagem com base na sua experiência, auxiliando a escola no acompanhamento do desempenho

Tobias Zucula
School: Maputo International College
Bus: APC 435 MP

All 3_Days This_week **This_month**

Today

- Pick-up**
Start time: 13:17:41
Duration: 14 min Distance: N/A
Avaliar
- Drop-off**
Escola: 13:31:36
Duration: 14 min Distance: N/A

2/12/2025

- Pick-up**
Start time: 21:29:21
Duration: 33 min Distance: N/A
Avaliar
- Drop-off**
Escola: 22:02:48
Duration: 33 min Distance: N/A

Tobias Zucula
School: Maputo International College
Bus: APC 435 MP

All 3_Days This_week **This_month**

Today

- Pick-up**
Start time: 13:17:41
Duration: 14 min Distance: N/A
Avaliar

Avaliar Motorista

☆☆☆☆☆

Comentário (opcional)

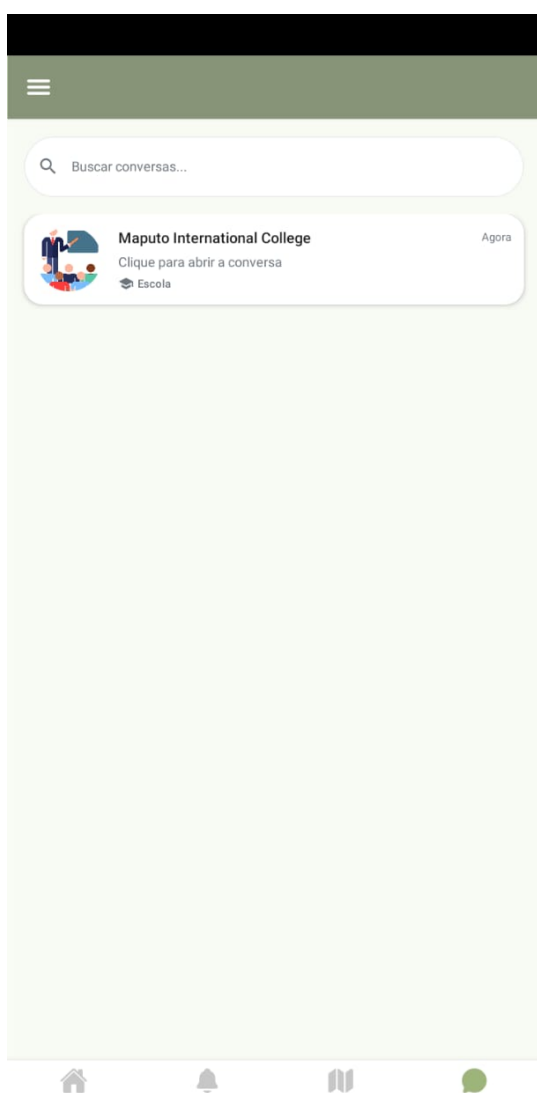
Cancelar **Enviar**

- Pick-up**
Start time: 21:29:21
Duration: 33 min Distance: N/A
Avaliar
- Drop-off**
Escola: 22:02:48
Duration: 33 min Distance: N/A

Comunicação

O encarregado dispõe de um chat integrado que permite comunicação directa com a escola, possibilitando:

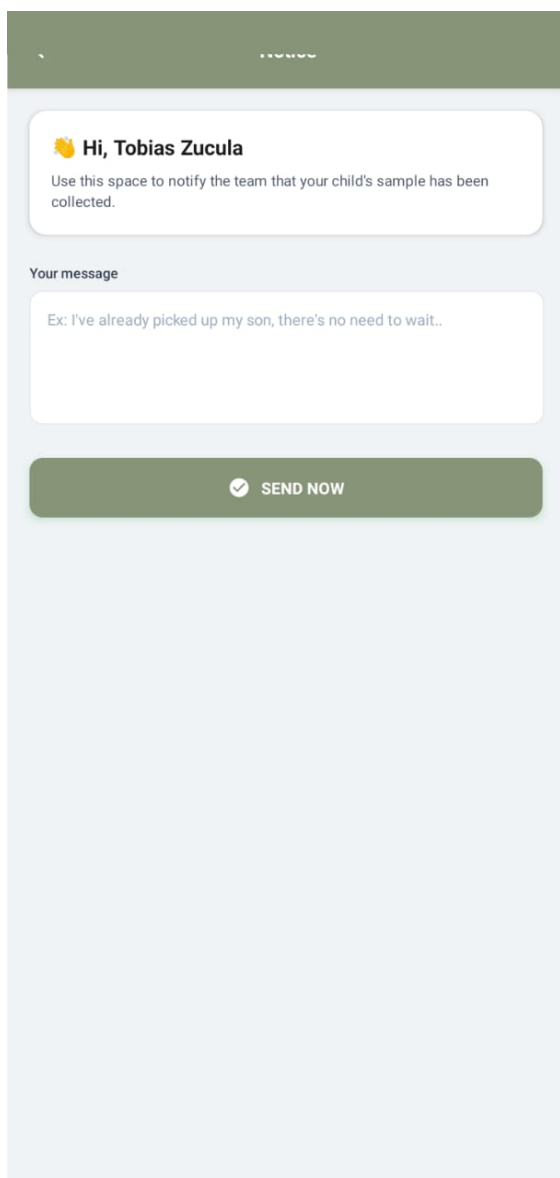
- Esclarecimento de dúvidas;
- Informação de atrasos;
- Notificação de ausências.



Aviso

A funcionalidade permite ao encarregado enviar avisos ao motorista sobre:

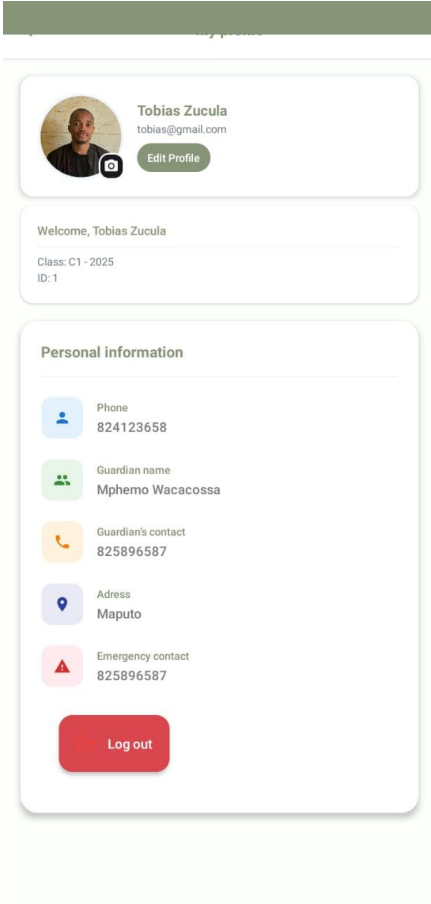
- Recolha antecipada;
- Alterações pontuais;
- Ausência do aluno.



The screenshot shows a mobile application interface for sending a message. At the top, there is a dark green header bar. Below it, a white rounded rectangle contains the text "Hi, Tobias Zucula" with a yellow smiley face icon, followed by the instruction "Use this space to notify the team that your child's sample has been collected." Below this, the text "Your message" is displayed above a white text input field. An example message is provided: "Ex: I've already picked up my son, there's no need to wait..". At the bottom of the form, there is a dark green button with a white checkmark icon and the text "SEND NOW".

Perfil

Apresenta toda a informação do aluno.



The image shows a user profile card for Tobias Zucula. At the top, there is a circular profile picture of a man with a beard, next to his name 'Tobias Zucula' and email 'tobias@gmail.com'. Below the name is an 'Edit Profile' button. The card then displays a welcome message: 'Welcome, Tobias Zucula'. Underneath, it shows the user's class 'Class: C1 - 2025' and ID 'ID: 1'. A section titled 'Personal information' contains several fields: 'Phone' (824123658), 'Guardian name' (Mphemo Wacacossa), 'Guardian's contact' (825896587), 'Address' (Maputo), and 'Emergency contact' (825896587). At the bottom of this section is a red 'Log out' button.

Tobias Zucula
tobias@gmail.com
Edit Profile

Welcome, Tobias Zucula

Class: C1 - 2025
ID: 1

Personal information

Phone
824123658

Guardian name
Mphemo Wacacossa

Guardian's contact
825896587

Address
Maputo

Emergency contact
825896587

Log out

Perfil da Escola

Autenticação do utilizador

É responsável por garantir que a instituição aceda ao sistema. A instituição realiza o login com as suas credenciais (email institucional e palavra-passe). O sistema valida o perfil e direcciona o utilizador para o painel inicial.



School Bus Tracking System
Maputo International College

your.email@institution.com

Your Password

Show

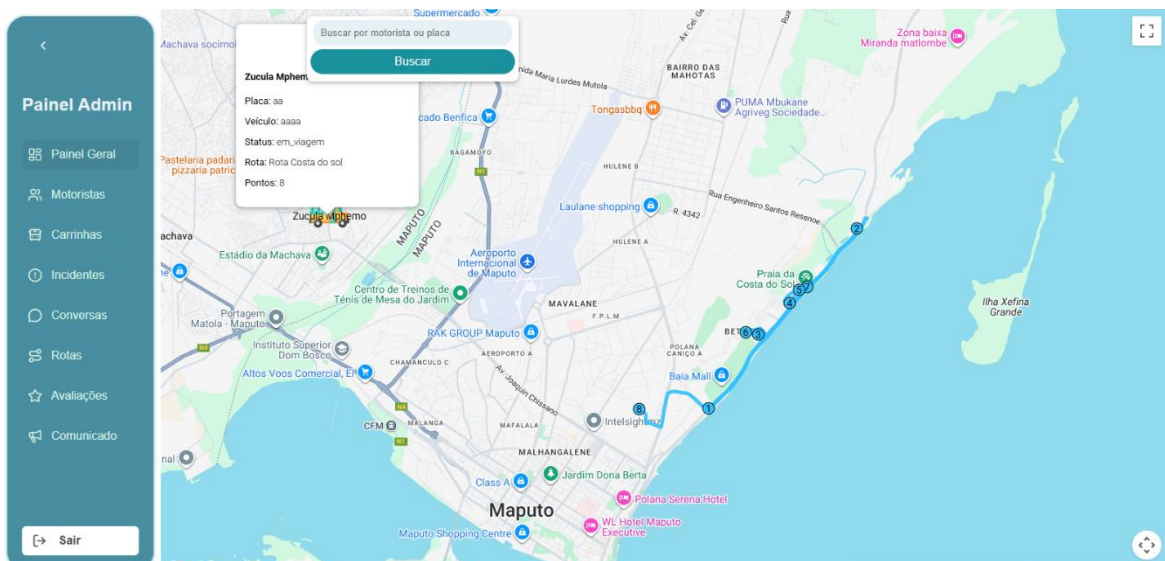
Log in

© 2025 Academic Institution - All rights reserved



Painel Geral

Apresenta todas as rotas em viagem juntamente com o trajecto e os pontos de recolha de cada rota. Dessa forma, a escola consegue monitorar em tempo real a localização das carrinhas escolares, assim como, visualizar por quais pontos o motorista deve visitar.



Motoristas

É responsável por realizar toda a gestão dos motoristas desde o cadastro até a eliminação dos dados.

Gestão de Motoristas
Gerencie todos os motoristas do sistema

+ Adicionar Motorista

2 Total de Motoristas | 2 Motoristas Ativos | 0 Motoristas Inativos | 4.5 Avaliação Média

Buscar por nome ou telefone... | Jos | Ativos | Inativos

MOTORISTA	CONTATO	VEÍCULO	STATUS	AÇÕES
B Butula Cossa Centro-Zimpeto		Caravan NV350 AFZ-659-HP	Ativo	[Icones]
Z Zucula Mphemo Rota Costa do sol	874569856	Quantum AGE-308-HP	Ativo	[Icones]

Detalhes do Motorista

B Butula Cossa
Ativo

INFORMAÇÕES DE CONTATO

Telefone:

VEÍCULO

Modelo: Caravan NV350
Placa: AFZ-659-MP

ROTA E ESTATÍSTICAS

Rota: Centro-Zimpeto
Viagens: 1 realizadas
Avaliação: 0,0/5,0

Carrinhas

A escola visualiza toda a informação de uma rota em viagem específica como detalhe da rota, da carrinha, dos alunos que pertencem a rota, a presença dos alunos, assim como, o histórico de viagens realizadas.

Monitoramento de Carrinhas
Acompanhe em tempo real a localização e status das rotas

1 ROTA ATIVA | 8 ALUNOS

Buscar Carrinha
Digite placa, nome do motorista ou rota

zucula | Buscar

Rota Costa do sol SAÍDA 13:00

ida

Detalhes | Histórico | Alunos (8)

Detalhes da Carrinha

Placa: AGE-308-MP
Modelo: Quantum
Marca: Toyota
Cor: Amarelo

Monitoramento de Carrinhas

Acompanhe em tempo real a localização e status das rotas

1
ROTA ATIVA

8
ALUNOS

Buscar Carrinha

Digite placa, nome do motorista ou rota

Rota Costa do sol

SAÍDA
13:00

ida

Histórico

Alunos (8)

3 registros

Histórico de Viagens

	Viagem #	Início	Fim	Duração	
4 DEZ.	Viagem #1	13:17:41	--:--	—	em andamento
2 DEZ.	Viagem #2	21:29:21	22:02:48	0h 33min	finalizada
26 NOV.	Viagem #3	16:28:39	17:47:14	1h 18min	finalizada

Monitoramento de Carrinhas

Acompanhe em tempo real a localização e status das rotas

1
ROTA ATIVA

8
ALUNOS

Buscar Carrinha

Digite placa, nome do motorista ou rota

Rota Costa do sol

SAÍDA
13:00

ida

Histórico

Alunos (8)

8 alunos - 6 presentes

Alunos da Rota

<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px; color: white; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">A</div> <div> <p>Nilza Nhantumbo</p> <p style="font-size: x-small;">C1</p> </div> <div style="margin-left: auto; text-align: right; color: red; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">Ausente</div> </div> <div style="font-size: x-small; margin-top: 5px;"> <p> Matola</p> <p> 865676534</p> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px; color: white; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">A</div> <div> <p>henrique</p> <p style="font-size: x-small;">C2</p> </div> <div style="margin-left: auto; text-align: right; color: red; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">Ausente</div> </div> <div style="font-size: x-small; margin-top: 5px;"> <p> Machava</p> <p> 821234567</p> </div>
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px; color: white; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">A</div> <div> <p>carlos mucavele</p> <p style="font-size: x-small;">C2</p> </div> <div style="margin-left: auto; text-align: right; color: green; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">Presente</div> </div> <div style="font-size: x-small; margin-top: 5px;"> <p> Mozal</p> <p> 876543215</p> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px; color: white; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">A</div> <div> <p>Tatiana Mahumana</p> <p style="font-size: x-small;">C3</p> </div> <div style="margin-left: auto; text-align: right; color: green; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">Presente</div> </div> <div style="font-size: x-small; margin-top: 5px;"> <p> T3 Bairro</p> <p> 876567776</p> </div>
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px; color: white; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">A</div> <div> <p>elisa matevele</p> <p style="font-size: x-small;">C3</p> </div> <div style="margin-left: auto; text-align: right; color: green; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">Presente</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="border: 1px solid #ccc; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin-right: 5px; color: white; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">A</div> <div> <p>abel chirrine</p> <p style="font-size: x-small;">C3</p> </div> <div style="margin-left: auto; text-align: right; color: green; font-weight: bold; font-size: 0.8em;">Presente</div> </div>

Incidentes

É responsável por apresentar os incidentes relatados pelos motoristas durante o trajeto e também os avisos enviados pelos encarregados.

The screenshot shows the 'Central de Mensagens' interface. On the left is a 'Painel Admin' sidebar with options: Painel Geral, Motoristas, Carrinhas, Incidentes, Conversas, Rotas, Avaliações, and Comunicado. The main area is titled 'Central de Mensagens' with the subtitle 'Gerencie notificações e comunicações da escola' and a '16 TOTAL' indicator. The 'Mensagens Recebidas' section shows three messages:

- 06/11/2025: mechanical, Problema Mecânico - Saa, 04:17, Rota 1, medium (1 notification).
- 05/11/2025: mechanical, Problema Mecânico - No mobile, 14:11, Rota 1, high (1 notification).
- 03/11/2025: aviso, Viagem Iniciada, 23:45, Rota 1, low (6 notifications).

The 'Detalhes da Mensagem' panel on the right shows details for the selected message: Tipo: mechanical, Remetente: Zucula Mphemo, Data/Hora: 06/11/2025, 04:17:43, Rota: Rota Costa do sol. The description is 'Problema Mecânico - Saa' and the additional content is 'Tivemos um problema mecânico com o carro, neste momento estamos parados na via publica.' There is an 'Encaminhar para Pais' button at the bottom.

Rotas

É responsável pela gestão de rotas desde o cadastro das rotas e dos pontos de recolha até a alocação de motoristas a rotas.

The screenshot shows the 'Gestão de Rotas' interface. On the left is the same 'Painel Admin' sidebar. The main area is titled 'Gestão de Rotas' with the subtitle 'CRUD completo de rotas, pontos e alocação de alunos.' It features three summary cards: 'Total de Rotas' (7), 'Rotas Ativas' (4), and 'Rotas Inativas' (3). Below are two main sections:

- Cadastrar Nova Rota:** Includes input fields for 'Nome da Rota', 'Descrição', 'Dias da Semana (Ex: Seg, Ter, Sex)', and 'Tempo Estimado (min)'. It also has dropdown menus for 'Motorista' and 'Veículo'.
- Cadastrar Ponto de Parada:** Includes input fields for 'Nome do Ponto' and 'Descrição'. It features a map of Maputo with a location pin and a person icon. Below the map are input fields for 'Latitude' and 'Longitude'.

Avaliações

Apresenta as avaliações que os encarregados realizaram as viagens feitas pelos motoristas. A escola pode filtrar as avaliações pela rota ou motoristas.

Painel Admin

- Painel Geral
- Motoristas
- Carrinhas
- Incidentes
- Conversas
- Rotas
- Avaliações**
- Comunicado

Filtros

Rota: Todas

Motorista: Todos

Total de Avaliações: 2

Média de Nota: 4.5

Avaliações Baixas: 0

2025-11-26 Rota Costa do sol 4 ★

Aluno: Tobias Zucula
Responsável: Mphemo Wacacossa
Motorista: Zucula Mphemo
Comentário: Hhhh

2025-11-26 Rota Costa do sol 5 ★

Aluno: Tobias Zucula
Responsável: Mphemo Wacacossa
Motorista: Zucula Mphemo
Comentário: Viagem bem boa, chegou a tempo

Comunicado

A escola envia comunicados gerais relacionados ao transporte escolar aos alunos pertencentes as rotas.

Painel Admin

- Painel Geral
- Motoristas
- Carrinhas
- Incidentes
- Conversas
- Rotas
- Avaliações
- Comunicado**

Selecionar Rota
Clique em uma rota para ver os alunos

- Rota Costa do sol ida ✓
- Escola Liberdade -> Zimpeto (Volta) ida
- Polana-Malanga ida
- nnnnn ida
- Centro-Zimpeto ida
- ff dfdf

Alunos da Rota Rota Costa do sol
Selecione os alunos que receberão o comunicado

Buscar aluno ou turma... Selecionar Todos

- Tobias Zucula (Turma: C1, Turno: manhã, Ano: 2025)
- Nilza Nhantumbo (Turma: C1, Turno: manhã, Ano: 2025)
- henrique (Turma: C2, Turno: manhã, Ano: 2025)
- carlos mucavele (Turma: C2, Turno: Manhã, Ano: 2025)
- Tatiana Mahumana (Turma: C3, Turno: Tarde, Ano: 2025)

Escrever Comunicado
Preencha os campos abaixo para enviar

Título do Comunicado

Ex. Aviso sobre reunião de pais