



Instituto Federal do Maranhão
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Robson Luan do Nascimento de Sousa

**Desenvolvimento dirigido por comportamento aplicado em um
sistema simulado de travamento de portas veicular**

Santa Inês - MA
2025

Instituto Federal do Maranhão
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Robson Luan do Nascimento de Sousa

**Desenvolvimento dirigido por comportamento aplicado em um
sistema simulado de travamento de portas veicular**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal
do Maranhão, Campus Santa Inês, como
requisito da obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Emanuel Cleyton Macedo
Lemos, Msc.

Coorientador: Prof. Aristoteles de Almeida
Lacerda Neto, Dr.

Santa Inês - MA

2025

ESTA SERÁ SUA FICHA CATALOGRÁFICA

ESTA SERÁ SUA FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Agradeço o IFMA e ao curso de Engenharia da Computação, pela formação acadêmica e pelas oportunidades oferecidas ao longo da graduação.

Aos professores Msc. Emanuel Cleyton Macedo Lemos e Dr. Aristoteles de Almeida Lacerda Neto, pela orientação e por toda a ajuda durante a minha trajetória de aprendizado

Se pude enxergar a tão grande distância, foi subindo nos ombros de gigantes.

Isaac Newton
Carta à Robert Hooke, 1676

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo explorar a aplicação da metodologia de Desenvolvimento Orientado por Comportamento (BDD) no contexto de software embarcado, utilizando o mapeamento de exemplos e a linguagem Gherkin para definição de funcionalidades, geração de testes de aceitação automatizados e modelagem do sistema. Serão apresentados os principais benefícios decorrentes do uso dessa abordagem, como a ampla cobertura de testes, e a geração de documentação viva que valida o comportamento do sistema contra os resultados esperados. A metodologia será aplicada no desenvolvimento de um protótipo que simula um sistema automotivo de travamento de portas, atendendo a todas as especificações de comportamento previamente definidas.

Palavras-chave: *BDD. Gherkin. teste-automatizado. engenharia-automotiva. desenvolvimento-ágil.*

ABSTRACT

This study aims to explore the application of the Behavior Driven Development (BDD) methodology in the context of embedded software, using example mapping and the Gherkin language for defining functionalities, generating automated acceptance tests and modeling the system. The main benefits of this approach will be presented, such as extensive test coverage and the creation of living documentation that validates the system's behavior against the expected results. The methodology is going to be applied on the development of a prototype that simulates an automotive door locking system, fulfilling all previously defined behavioral specifications.

Key-words: *BDD. Gherkin. automated-tests. automotive-engineering. agile-development..*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – História de Usuário 1: Travamento de todas as portas.	34
Figura 2 – Mecanismo de travamento da porta (REIF,).	35
Figura 3 – Diagrama de abstração do sistema em camadas de aplicação, software básico e componentes físicos.	36
Figura 4 – História de Usuário 2: Destravamento de todas as portas.	38
Figura 5 – História de Usuário 3: Feedback de travamento.	40
Figura 6 – História de Usuário 4: Keyless Access.	42
Figura 7 – História de Usuário 5: Travamento automático.	46
Figura 8 – Diagrama de Caixa Preta do sistema de travamento de portas.	47

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores possíveis para as interfaces de entrada e saída	48
--	----

LISTA DE CÓDIGOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LI	Lorem Ipsum
LII	Lorem Ipsum Ipsum

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMÁTICA	16
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	17
1.3	METODOLOGIA	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	DESENVOLVIMENTO ORIENTADO A COMPORTAMENTO - BDD	19
2.2	DEFINIÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO SISTEMA POR MEIO DE HISTÓRIAS DE USUÁRIO E MAPEAMENTO DE EXEMPLOS	20
2.3	A LINGUAGEM GHERKIN (CUCUMBER)	22
2.4	DESIGN ORIENTADO POR MODELO	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	TIPO DE PESQUISA	27
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.3	FERRAMENTAS UTILIZADAS	28
3.4	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	29
4	IMPLEMENTAÇÃO	30
4.1	ETAPA 1: DESCRIÇÃO DAS HISTÓRIAS DE USUÁRIO	30
4.2	ETAPA 2: MAPEAMENTO DE EXEMPLOS	32
4.2.1	História de usuário 1	32
4.2.2	História de usuário 2	37
4.2.3	História de usuário 3	38
4.2.4	História de usuário 4	41
4.2.5	História de usuário 5	43
4.3	ETAPA 3: DESENHO DO DIAGRAMA DE CAIXA PRETA	46
4.4	ETAPA 4: DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS GHERKIN	49
4.4.1	História de usuário 1	49
4.4.2	História de usuário 2	49
4.4.3	História de usuário 3	49
4.4.4	História de usuário 4	49
4.4.5	História de usuário 5	49
4.5	ETAPA 5: MODELAGEM ITERATIVA DO SISTEMA EM SIMULINK	49

REFERÊNCIAS	50
-----------------------	----

1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva tem experimentado um crescimento constante, acompanhado por um aumento significativo na modernização dos veículos e pela intensa competição entre montadoras para entregar produtos cada vez mais robustos e de alta qualidade. Esse cenário traz consigo um aumento na complexidade do desenvolvimento, demandando soluções mais eficientes e seguras para sistemas cada vez mais sofisticados e que sejam capazes de atender às necessidades específicas de cada cliente.

Diante desse contexto, a Engenharia Automotiva enfrenta o desafio de projetar e desenvolver produtos com um nível altíssimo de qualidade, ao mesmo tempo em que busca reduzir erros e retrabalho. A aplicação de metodologias ágeis, como o Behavior Driven Development (BDD) (NORTH, 2006), oferece uma abordagem promissora, pois foca na definição do comportamento esperado do sistema a partir da perspectiva do usuário. Essa abordagem permite uma colaboração mais efetiva entre os membros de uma equipe ágil (Atlassian, n.d.), facilita a descoberta de funcionalidades e possibilita que o desenvolvimento seja guiado por testes de aceitação automatizados, promovendo entregas de valor de forma mais rápida e com maior confiabilidade.

1.1 PROBLEMÁTICA

O problema central deste trabalho é: “como é possível aplicar o processo de BDD para facilitar a definição do sistema e guiar seu desenvolvimento no contexto da Engenharia de Sistemas Automotivos?”.

O BDD incorpora diversas premissas que surgem das lições aprendidas na aplicação de outras metodologias ágeis, definindo o desenvolvimento do produto a partir do comportamento que gera valor ao usuário. Além disso, ele busca promover a colaboração entre as diferentes etapas do desenvolvimento, garantindo que toda a equipe compreenda o produto e consiga assumir a perspectiva do usuário.

Por outro lado, a Engenharia Automotiva apresenta uma complexidade significativa, o que torna desafiadora a entrega de produtos de alta qualidade. A definição de um sistema veicular envolve muito mais do que software ou eletrônica (Bosch, 2022), sendo necessário integrar componentes mecânicos, considerar falhas potenciais e contemplar casos de uso extremos.

O principal desafio deste trabalho está em identificar técnicas capazes de capturar essas complexidades e torná-las compatíveis com as premissas do BDD.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Para responder à problemática levantada, o presente estudo tem como objetivo geral aplicar o levantamento e definição de funcionalidades na análise de um sistema de travamento de portas veicular, seguido do desenvolvimento guiado por testes de aceitação automatizados, demonstrando como essas práticas podem contribuir para o desenvolvimento de software automotivo de forma mais organizada e eficiente. Para isso, os objetivos específicos serão focados em:

- Abordar as complexidades dos sistemas automotivos de maneira compatível com o processo de BDD;
- Empregar técnicas de desenvolvimento que são amplamente utilizadas na indústria automotiva;
- Realizar o levantamento e definição de funcionalidades considerando possíveis limitações decorrentes da dependência de hardware e de sistemas mecânicos;
- Definir um escopo de desenvolvimento que possibilite a realização do design do sistema forma clara e compreensível;
- Empregar testes de aceitação automatizados para possibilitar o desenvolvimento do sistema de maneira iterativa, consistente com o design definido;
- Possibilitar a adaptação às descobertas surgidas durante a aplicação do processo, garantindo a melhoria contínua do design do sistema e do valor entregue ao usuário.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo baseia-se na revisão da bibliografia disponível, com o objetivo de esclarecer o processo de BDD e investigar como ele pode ser adaptado para incorporar práticas consolidadas na Engenharia Automotiva. Para tanto, serão aplicadas técnicas como o mapeamento de exemplos (LAWRENCE; RAYNER, 2019; WYNNE, 2015) , voltado ao levantamento e definição de funcionalidades, e testes de aceitação automatizados (SOLIS; WANG, 2011) , que servirão para guiar o desenvolvimento do sistema.

A implementação do sistema simulado também fará uso de técnicas típicas da Engenharia Automotiva, incluindo o Model Based Design (SANGIOVANNI-VINCENTELLI; MARTIN, 2001; MathWorks, 2020) e a geração automática de código segundo o padrão de software AUTOSAR (AUTOSAR, n.d.). Conceitos adicionais do domínio automotivo serão considerados para assegurar a adequada abstração nas diferentes etapas do desenvolvimento.

Espera-se que os resultados obtidos evidenciam os benefícios da integração do BDD no contexto automotivo, destacando sua contribuição para a qualidade e confiabilidade do sistema. A validação será realizada por meio da execução dos testes de aceitação e da análise do uso do sistema final sob a perspectiva do usuário.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre BDD e testes automatizados, o capítulo 3 descreve a metodologia aplicada, o capítulo 4 detalha a implementação e os resultados obtidos, e o capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação deste trabalho é a aplicação prática do Desenvolvimento Orientado a Comportamento (BDD) ao desenvolvimento de sistemas de software automotivo. Esse processo será aplicado no mapeamento de funcionalidades e modelagem de um sistema de travamento de portas veicular.

2.1 DESENVOLVIMENTO ORIENTADO A COMPORTAMENTO - BDD

A metodologia de desenvolvimento orientado a comportamento foi inicialmente proposta por Dan North, que compartilhou em seu blog (NORTH, 2006) as lições aprendidas ao aplicar e ensinar o processo de desenvolvimento orientado a testes (TDD). Segundo o mesmo, “Ele (BDD) evoluiu além de práticas ágeis e é designado para fazê-las mais acessíveis e efetivas para times que são novos no desenvolvimento ágil”.

A evolução do processo de BDD foi impulsionada por diversas descobertas práticas que surgiram em resposta às dificuldades enfrentadas na aplicação do TDD. A mudança da nomenclatura de “teste” para “comportamento”, por exemplo, é aparentemente simples, mas gerou um impacto profundo. Essa nova terminologia ajudou a consolidar a ideia de que os testes devem sempre validar o comportamento esperado do sistema, o que, por sua vez, reduziu significativamente dúvidas comuns entre desenvolvedores iniciantes, como: “como eu testo isso?” ou “como eu nomeio este teste?”.

Outra mudança importante nesse processo foi a adoção do termo *should* (deveria) em vez de *shall* (deve) ou *will* (vai) na formulação dos nomes dos testes. Dessa forma, a sua nomenclatura se torna uma sentença natural e provoca a reflexão: Ao afirmar que “o sistema deveria fazer algo”, é natural que surja a dúvida: “mas deveria mesmo?”. Esse tipo de reflexão é especialmente valioso em equipes ágeis (Atlassian, n.d.), pois estimula o diálogo — principalmente em discussões que envolvem profissionais com diferentes níveis de conhecimento técnico ou de domínio do negócio.

A trajetória de Dan North, marcada por suas descobertas, consolidaram um processo de desenvolvimento robusto e que traz diversas práticas voltadas a entregar valor ao usuário de forma mais rápida. Esse amadurecimento é evidente nas características apontadas por (SOLIS; WANG, 2011) sobre o processo de BDD em sua forma atual, que consistem de:

1. **Linguagem Ubíqua** - uma linguagem comum compreensível tanto por desenvolvedores quanto por especialistas do domínio ou do negócio. Deve ser utilizada ao longo de todo o processo de desenvolvimento do produto, assegurando uma comunicação clara e evitando ambiguidades entre as partes envolvidas;

2. **Processo de decomposição iterativa** - facilita a priorização do desenvolvimento de funcionalidades para o sistema ao delinear o valor gerado para o cliente final;
3. **Descrições em texto simples com histórias de usuário e templates de cenários** - emprega templates que contêm uma mistura de palavras chaves e linguagem natural na criação de histórias de usuário e de cenários, garantindo sua acessibilidade e facilidade de entendimento;
4. **Testes de aceitação automatizados com regras de mapeamento** - aplica especificações executáveis na forma de cenários compostos de passos que são traduzidos em testes, os quais orientam o desenvolvimento.

Para garantir que todas as características listadas sejam capturadas neste trabalho, o uso de histórias de usuário (REHKOPF, 2025) e da linguagem Gherkin (cucumber) (Cucumber.io, 2024b) serão aplicadas.

2.2 DEFINIÇÃO DAS FUNCIONALIDADES DO SISTEMA POR MEIO DE HISTÓRIAS DE USUÁRIO E MAPEAMENTO DE EXEMPLOS

Segundo (REHKOPF, 2025), histórias de usuário são “uma explicação informal de uma funcionalidade de software escrita na perspectiva do usuário”. Elas representam uma unidade de trabalho, um objetivo de desenvolvimento a ser alcançado e garante que a equipe seja capaz de colaborar e trazer soluções inovadoras com o usuário final em foco.

Para isso, adota-se um formato que se utiliza de linguagem natural e assegura a definição de três elementos fundamentais:

- Quem é o usuário?
- Qual funcionalidade deve ser implementada?
- Qual valor essa funcionalidade traz ao usuário?

Esses três pontos são organizados em uma estrutura padronizada que utiliza conjunções específicas, resultando no seguinte modelo: “*Como [tipo de usuário], eu quero [funcionalidade], para que [valor gerado].*” Assim como destacado por Dan North

“[...] sua força está em forçar que você identifique o valor de entregar uma história quando você a define [...]”. (NORTH, 2006)

Essa ênfase em entender o valor entregue ao usuário — desde a formulação das histórias — é essencial para garantir que as funcionalidades desenvolvidas estejam alinhadas com as reais necessidades do usuário.

Para garantir um bom fluxo nas discussões durante a definição do escopo das histórias, o exemplo prático da aplicação de BDD demonstrado em (LAWRENCE; RAYNER, 2019) destaca o uso do mapeamento de exemplos como uma forma eficaz para explorar e esclarecer os comportamentos esperados do sistema. Esse método contribui para que toda a equipe tenha uma compreensão da funcionalidade em questão e evita desvios no foco da conversa.

Dessa maneira, a definição dos comportamento deve ser feita por meio de discussões que incluem toda a equipe e começa com citações de exemplos de uso real, priorizando os cenários de happy path — aqueles em que o sistema se comporta conforme o esperado em condições normais. Estes exemplos devem ser sempre descritos a partir da perspectiva do usuário e podem ser trazidos de forma iterativa, sem a necessidade de que todos os casos estejam definidos antes do início do desenvolvimento.

Neste estágio do processo, existem ainda muitas incertezas acerca do sistema, o que pode dificultar a definição de comportamentos concretos que sustentem tecnicamente os exemplos levantados. Essa dificuldade é ainda maior quando não se tem uma descrição física do produto final ou detalhes de implementação - como no caso deste trabalho onde o mecanismo do travamento da porta ainda não está definido durante a etapa de mapeamento de exemplos.

Para lidar com tantos pontos desconhecidos durante discussões com a equipe, costuma-se aplicar o mapeamento de exemplos com o uso de notas adesivas coloridas, assim como descrito na metodologia de (WYNNE, 2015). Ela se utiliza de notas coloridas em 4 cores diferentes que representam diferentes pontos:

- **Amarelo:** História de usuário ou funcionalidade;
- **Azul:** Regra de funcionamento da história;
- **Verde:** Exemplo concreto que demonstra uma regra;
- **Vermelho:** Pergunta que foge do escopo da discussão e que deve ser investigada futuramente.

Dessa maneira, todos os pontos desconhecidos que foram previamente identificados são registrados como perguntas, evitando que a discussão se desvie para tópicos fora do escopo naquele momento. Na etapa de implementação, serão apresentados exemplos dessas perguntas e a forma como cada uma será tratada ao longo do processo.

Após as dúvidas serem anotadas, a discussão segue focada na experiência do usuário, mesmo que alguns aspectos técnicos ainda não estejam totalmente esclarecidos. Neste caso, assume-se que o veículo existe e que suas portas funcionam “magicamente”, conforme

os comportamentos definidos, permitindo que a discussão possa ser prosseguida com os exemplos concretos que devem ser descritos usando as notas verdes.

2.3 A LINGUAGEM GHERKIN (CUCUMBER)

A validação das funcionalidades definidas, como detalhado no processo de BDD, consiste na criação de especificações executáveis na forma de cenários que servem de critérios de aceitação das histórias de usuário. Os cenários utilizam um padrão de escrita que incorpora uma junção de palavras-chave com linguagem natural e podem ter interface com o código desenvolvido por meio de diversas ferramentas como JBehave, RSpec (Cucumber.io, 2024b) e a que será aplicado neste trabalho - Cucumber (Cucumber.io, 2024a) em junção com a biblioteca do Python chamada Behave (Behave, 2025).

Cucumber utiliza a gramática Gherkin para a escrita dos cenários, adotando as palavras-chave Given/When/Then (Dado que/Quando/Então), que permitem descrever o comportamento esperado do sistema de forma compreensível para todas as partes envolvidas. Esses cenários são traduzidos em testes automatizados que interagem com o software e verificam seu comportamento por meio de passos e definições de passos, os quais contêm as instruções necessárias para manipular o sistema e gerar situações de teste.

A estrutura da especificação é organizada em arquivos com extensão .feature, próprios do Cucumber. Esses arquivos descrevem conjuntos de cenários, compostos por passos que são interpretados e associados às definições implementadas em Python, por meio da biblioteca Behave. Cada cenário dentro da feature descreve, utilizando as palavras guias, os seguintes componentes do teste:

- **Given** - estado inicial ou pré-condições.
- **When** - evento ou transição de estado.
- **Then** - estado final do sistema ou ação.

Dessa forma, um cenário descreve como o sistema deve transitar de um estado inicial — definido pela cláusula Given — para um estado final — especificado pelo Then — em resposta a uma mudança ou evento descrito pelo When. Um exemplo disso pode ser demonstrado da seguinte forma:

Scenario: Derrubar dominós

Given eu organizei vários dominós em pé numa fila reta

When eu derrubar o primeiro dominó

Then todos os dominós deveriam cair em sequência

Este exemplo ilustra como a gramática Gherkin pode ser utilizada para representar um cenário real na qual dominós são enfileirados e, ao se derrubar o primeiro, ocorre uma reação em cadeia. Ele demonstra uma clara mudança de estado que ocorre como uma resposta ao evento que é derrubar o primeiro dominó.

Um exemplo aplicado a um sistema de software para travamento de portas — como no caso abordado neste trabalho — pode ser descrito da seguinte forma:

Scenario: Travando o carro

Given o meu carro está destravado

When eu pressiono o botão de travamento das portas

Then o carro deveria ser travado

Tanto este quanto o exemplo anterior ilustram como o uso da linguagem natural proposto pelo processo de BDD na escrita dos cenários torna o entendimento claro e evita confusões. Outro benefício dessa abordagem é sua independência em relação à tecnologia utilizada — ao definir que o comportamento esperado do sistema é travar o carro em resposta ao pressionar o botão, essa especificação permanece válida independentemente do tipo de trava adotado ou mesmo do número de portas no veículo.

Com a biblioteca Behave, do Python, é possível implementar os passos definidos nos cenários Gherkin por meio de funções associadas a decoradores específicos. Esses decoradores utilizam as palavras-chave da gramática Gherkin — como **Given**, **When** e **Then** — para vincular cada trecho do cenário a uma função que executa a lógica correspondente.

Assim como citado por (SOLIS; WANG, 2011) as definições de passo e integração com o software é feita de maneira iterativa, similar ao do processo de TDD, seguindo o ciclo “vermelho-verde-refatorar”. Nesse contexto, cada passo do cenário assume o papel de um teste: inicialmente, o passo falha (“vermelho”); em seguida, são feitas alterações mínimas para que ele seja satisfeito (“verde”); por fim, o código é aprimorado mantendo o comportamento esperado (“refatoração”).

No exemplo da cláusula **When** do último cenário descrito nesta seção, a intenção do passo é representar o pressionar do botão de travamento das portas. Essa ação pode ser realizada por meio da alteração do sinal de entrada do sistema que indica o estado do botão, modificando seu valor de 0 para 1. Utilizando a biblioteca Behave em Python, isso pode ser realizado da seguinte maneira:

```
@when('eu pressiono o botão de travamento das portas')
def passo_pressionar_botao_de_travamento(context):
    context.botao_trava = 1
```


Onde o decorador `@when` especifica qual passo está sendo definido, e a função `passo_pressionar_botao_de_travamento` contém a lógica que deve ser executada quando esse passo for invocado. O objeto `context` é amplamente utilizado na biblioteca Behave por permitir o compartilhamento de informações entre os passos, bem como o acesso a interfaces do sistema sob teste. Nesse caso, assume-se que o valor do sinal referente ao botão de travamento está armazenado no objeto `context` e pode ser modificado por meio de uma simples atribuição.

Na prática, existem algumas complexidades adicionais a serem tratadas na implementação dessas funções, como a comunicação entre o código Python e o modelo Simulink, além da identificação do bloco cujo valor deve ser alterado. No entanto, a função apresentada ilustra claramente o princípio do mapeamento entre os passos descritos em linguagem natural e as ações que operam sobre o sistema - cada passo, ao ser executado, invoca uma função responsável por manipular o sistema de forma a aplicar o comportamento definido na especificação.

2.4 DESIGN ORIENTADO POR MODELO

O desenvolvimento de software embarcado impõe uma série de desafios, conforme destacado por (SANGIOVANNI-VINCENTELLI; MARTIN, 2001). Entre os principais, estão os altos custos associados ao ciclo de desenvolvimento e as severas restrições de performance, consumo de energia e capacidade de processamento — fatores diretamente condicionados pelo hardware utilizado. Essas limitações tornam o processo de definição e validação do sistema particularmente complexo, já que até mesmo alterações simples nos requisitos podem demandar modificações significativas no código-fonte, seguidas por longas etapas de recompilação, testes e depuração.

Nesse cenário, o Model-Based Design (MBD) surge como uma abordagem eficaz para lidar com tais dificuldades. Segundo a MathWorks (MathWorks, 2020), ele consiste de uma metodologia que utiliza modelos computacionais e simulações ao longo do processo de desenvolvimento de um sistema, substituindo a escrita manual de código. Através dessa abordagem, os sistemas podem ser projetados, simulados e validados em um ambiente integrado.

Os principais benefícios dessa metodologia são:

- Ligação do design diretamente aos requisitos;
- Colaboração em um ambiente de desenvolvimento compartilhado;
- Simulação de vários cenários possíveis;
- Otimização de performance a nível do sistema;

- Geração automática de código embarcado, documentação e relatórios;
- Detectar erros mais cedo por testar mais cedo;

Neste trabalho o último ponto será especialmente demonstrado, devido a utilização dos testes de aceitação das histórias de usuário. Isso será feito ao integrar cenários Gherkin com o modelo em Simulink para executar os testes que validam o seu comportamento durante as simulações.

Outra barreira frequentemente encontrada no desenvolvimento de software embarcado é a sua forte dependência do hardware utilizado, especialmente quando se trata da interação com os diversos componentes conectados ao microcontrolador. No caso do sistema de travamento de portas, por exemplo, é necessária a utilização de um atuador que seja capaz de acionar a trava e impedir a abertura da porta — algo que pode ser implementado com o uso de motores de passo ou servo motores.

A dificuldade surge justamente na definição das entradas e saídas do sistema, que precisam ser modeladas de forma compatível com os componentes selecionados. No entanto, muitas vezes o hardware ainda não está totalmente definido nesta etapa do projeto, ou pode vir a ser alterado futuramente por razões de custo, disponibilidade ou requisitos de desempenho. Essas mudanças forçam modificações no modelo do sistema, o que acaba reproduzindo um dos principais problemas da abordagem tradicional baseada em código manual: a necessidade constante de retrabalho sempre que há mudanças na base de hardware.

Para mitigar esses tipo de problema, é comum a adoção de padrões de desenvolvimento de software, como o AUTOSAR (AUTOSAR, n.d.), que separa o sistema em camadas, cada uma com um nível específico de abstração. Essa arquitetura em camadas permite isolar as dependências de hardware, facilitando a reutilização de código e a manutenção do sistema.

No modelo AUTOSAR, a estrutura do software é decomposta nas seguintes camadas:

- **Camada de Aplicação** — contém componentes de software que são responsáveis pela lógica funcional do sistema, que são completamente independentes do hardware;
- **Software básico** — implementa serviços que permitem o acesso direto ao hardware, lidando com os detalhes técnicos da plataforma física utilizada;
- **RTE (Run-Time Environment)** — faz a interface entre as duas camadas anteriores e gerencia a comunicação entre diferentes componentes de software;

Neste caso, o desenvolvimento do modelo será focado na camada de aplicação, similar à presente no padrão AUTOSAR, definindo interfaces de entrada e saída como

abstrações simplificadas que satisfazem o comportamento do sistema sem se prender em detalhes técnicos. Para isso, a definição do modelo do sistema e dos testes de aceitação tomará como base o teste de caixa preta (SOMMERVILLE, 2011).

Dessa forma, uma possível abstração da saída do sistema, considerando o problema levantado anteriormente — o estado de travamento da porta —, pode ser feita ao representar cada trava por meio de um sinal binário: onde 1 indica o estado travado e 0, o destravado. Essa interface corresponde à saída do modelo, a qual, na prática, é transmitida através da camada de RTE para o software básico que é responsável por converter esse sinal em um formato compatível com o componente físico selecionado.

Um benefício adicional dessa abstração é que ela permite a utilização direta das interfaces nos cenários Gherkin e torna a validação independente dos detalhes técnicos do sistema, assim como é definido em testes de caixa preta. Essa metodologia vai de acordo com a definição dos comportamentos no BDD, afinal, o valor gerado na funcionalidade de travamento de portas não depende da capacidade de movimentar um motor, mas sim da lógica que habilita o estado de travamento, independentemente do mecanismo utilizado para isso.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a metodologia aplicada para o desenvolvimento deste produto do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), que possui natureza técnica e tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema integrado de travamento de portas veicular, quais as ferramentas utilizadas e como o Desenvolvimento Baseado em Comportamento (BDD) foi empregado.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Esta é uma pesquisa aplicada, tendo em vista à solução de problemas presentes em metodologias de desenvolvimento de produto tradicionais como rastreabilidade de requisitos e aplicação de testes manuais. Também será aplicada uma abordagem mista, que demonstra quantitativamente a cobertura dos testes desenvolvidos em Modelo em Loop (MIL) e qualitativamente na experiência de usuário no modelo final.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este produto teve seu desenvolvimento em etapas com base na metodologia do processo de BDD como demonstrado em (SOLIS; WANG, 2011), com uma série de modificações para adaptá-lo à Engenharia Automotiva. As seguintes etapas de desenvolvimento serão aplicadas:

1. Descrição das histórias de usuário: Capturar as histórias definidas em forma de requisitos funcionais com linguagem natural e que capture o valor gerado pela perspectiva do usuário;
2. Mapeamento de exemplos: Definição de exemplos concretos tomados da perspectiva do usuário final;
3. Desenho do diagrama de caixa preta: Desenho do diagrama do sistema que demonstra suas interfaces de entrada e saída, sem demonstrar detalhes de suas interações;
4. Desenvolvimento dos cenários Gherkin: Escrita dos cenários aplicando o padrão cucumber e que aborde todas as regras definidas;
5. Tradução dos cenários em testes: Desenvolvimento de funções dos passos dos cenários gherkin utilizando as interfaces do diagrama de caixa branca;
6. Modelagem iterativa do sistema em simulink: Modelagem feita de forma iterativa aplicando os cenários como critério de aceitação a cada iteração;

7. Análise qualitativa do produto final: Testes de uso do produto final e aprovação da experiência de usuário entregue.

Neste projeto, algumas etapas serão repetidas, pois o desenvolvimento orientado por comportamento (BDD) é um processo incremental, baseado em iterações sucessivas que introduzem novas funcionalidades ao produto. Assim, as etapas 1 e 2 serão inicialmente executadas para cada história de usuário. Ao final desse ciclo, a etapa 3 será iniciada elaborando um diagrama de caixa preta que abrange todas as funcionalidades definidas até o momento.

3.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS

As ferramentas e tecnologias adotadas no desenvolvimento deste produto foram escolhidas com base na compatibilidade com o modelo proposto e na sua capacidade de integrar diferentes etapas do processo. A seguir, descreve-se cada uma delas:

- **Cucumber (Gherkin)**: utilizado como padrão para a escrita de cenários comportamentais, permitindo a especificação dos requisitos no formato Given-When-Then, de forma legível por humanos e máquinas;
- **Miro**: empregado para a criação de diagramas não técnicos, bem como para auxiliar na discussão colaborativa de exemplos, fluxos e histórias de usuário;
- **Visual Studio Code**: ambiente de desenvolvimento (IDE) utilizado para escrever os cenários em Gherkin, desenvolver a tradução para testes executáveis e integrar o código gerado ao microcontrolador;
- **Python**: linguagem escolhida para implementar a lógica de tradução dos cenários Gherkin em testes executáveis, permitindo automatização e validação do comportamento esperado do sistema.
 - **Behave**: biblioteca utilizada para interpretar e executar os cenários comportamentais no formato BDD, integrando as especificações Gherkin à lógica de teste.
 - **Matlab Engine API for Python**: biblioteca usada para permitir a comunicação entre scripts Python e o ambiente Simulink, possibilitando a execução dos testes durante a simulação.
- **Simulink**: ferramenta adotada para a modelagem do sistema embarcado funcional, possibilitando simulações e geração automática de código C para o sistema-alvo.

- **Git/Github:** utilizado para o versionamento do projeto que inclui o modelo simulink do sistema, código embarcado gerado do modelo, arquivos feature dos cenários gherkin e códigos python dos testes executáveis.

3.4 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Para verificação e validação do produto gerado, serão aplicados critérios qualitativos e quantitativos de análise:

- Aprovação dos cenários gherkin no modelo simulink (testes MIL);
- Testes das histórias de usuário no modelo final.

4 IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo será demonstrado em detalhes o procedimento da aplicação de desenvolvimento de produto como anteriormente apresentado, com 9 etapas que expandem o modelo de (LAWRENCE; RAYNER, 2019) para adaptá-lo ao produto em questão.

4.1 ETAPA 1: DESCRIÇÃO DAS HISTÓRIAS DE USUÁRIO

A etapa inicial do Desenvolvimento Orientado por Comportamento (BDD) consiste na definição das funcionalidades a serem implementadas por meio de histórias de usuário. Nessa fase, a perspectiva do usuário — ou da pessoa que se beneficia da funcionalidade — deve ser o foco principal. Essa abordagem é um dos pilares fundamentais do BDD, pois garante que o produto desenvolvido entregue valor real ao usuário final.

Portanto, no contexto deste trabalho que trata do sistema de travamento de portas veicular, serão consideradas implementações práticas amplamente adotadas pela indústria automotiva como base para as histórias de usuário criadas.

O travamento e destravamento remoto das portas, acionado por meio da chave com controle remoto ou até mesmo via celular, permite que todas as portas do veículo sejam travadas ou destravadas à distância, sem a necessidade de inserção da chave na fechadura (Bosch, 2022). Esse caso de uso mais simples é vastamente presente em veículos de diversas montadoras e pode ser capturado por meio de duas histórias de usuário:

- Como dono de um veículo automotivo, quero travar todas as portas do meu carro utilizando o botão de travamento, para que eu possa mantê-lo seguro contra furtos e impedir o acesso de pessoas não autorizadas;
- Como dono de um veículo automotivo, quero destravar todas as portas do meu carro utilizando o botão de destravamento, para que eu possa acessá-lo.

Além disso, outra funcionalidade que é também vastamente presente é a indicação da confirmação do travamento ou destravamento das portas, que normalmente utiliza um sinal visual com os faróis do carro, assim como descrito por (Volkswagen,). A seguinte história de usuário será implementada para capturar essa funcionalidade:

- Como dono de um veículo automotivo, quero receber uma indicação clara sempre que o travamento ou destravamento das portas ocorrer, para que eu tenha certeza do estado de segurança do meu carro.

Em alguns veículos como os da Volkswagen (Volkswagen,), há uma funcionalidade que permite destravar as portas sem a necessidade de usar a chave, desde que ela esteja próxima ao veículo. O sistema **Keyless Access** possibilita que, ao interagir com as maçanetas das portas, o motorista possa destravar ou travar o carro sem precisar pressionar o botão no controle.

Esse recurso é útil em situações cotidianas, como quando o motorista deseja entrar no carro enquanto a chave está, por exemplo, no bolso. Embora o processo tradicional exija que o usuário retire a chave do bolso, pressione o botão de destravamento e, em seguida, guarde-a novamente, o uso do **Keyless Access** simplifica essa sequência. A diferença é pequena — apenas alguns segundos de tempo —, porém a implementação de uma funcionalidade que elimina etapas desnecessárias torna a experiência mais prática, especialmente considerando que esse mesmo uso será repetido diversas vezes ao longo do dia.

O manual do veículo descreve funcionalidades adicionais, como o travamento das portas ou o destravamento total do veículo ao se interagir duas vezes com a maçaneta. No entanto, para fins de simplificação, este trabalho irá considerar apenas o cenário básico de destravamento de uma única porta — especificamente, aquela com a qual o usuário interage. Com base nisso, a seguinte história de usuário é adotada:

- Como dono de um veículo automotivo, quero que a porta destrave automaticamente ao tentar abri-la com a chave em minha posse, para que eu possa acessar o veículo de forma mais rápida e conveniente.

Por fim, será implementada mais uma história de usuário, também baseada em funcionalidades descritas no manual do proprietário. Trata-se de um recurso que realiza o travamento automático do veículo após um determinado período de tempo, ativado em diferentes situações. Neste trabalho, será abordado especificamente o caso de destravamento não intencional.

Considerando que o usuário deseja manter seu veículo seguro contra furtos, garantir que ele permaneça travado é fundamental. Por esse motivo, identificar uma possível destrava indevida possui valor semelhante ao travamento convencional. A lógica adotada para essa funcionalidade depende de como o sistema reconhece a não intenção do motorista, o que deve ser inferido com base na interação do usuário com o veículo. Isso será definido na sessão do mapeamento de exemplos da história em questão, na próxima etapa.

Essa funcionalidade será capturada pela seguinte história de usuário:

- Como dono de um veículo automotivo, quero que as portas sejam re-travadas automaticamente caso o carro seja destravado sem intenção, para que o veículo permaneça seguro contra acessos não autorizados.

4.2 ETAPA 2: MAPEAMENTO DE EXEMPLOS

As histórias definidas na etapa anterior têm o papel de estabelecer um escopo claro da funcionalidade em discussão, garantindo que toda a equipe compreenda de forma alinhada o incremento de produto que está sendo proposto. Essa clareza é essencial para a etapa de mapeamento de exemplos, na qual ocorrem discussões colaborativas com pessoas de diferentes áreas.

É fundamental que todos os membros da equipe estejam cientes da ideia proposta e do valor que ela gera, pois isso permite um engajamento mais efetivo nas conversas. Em equipes ágeis (Atlassian, n.d.), a colaboração é um dos pilares para assegurar a qualidade do produto em desenvolvimento, especialmente em discussões que envolvem profissionais com diferentes formações e níveis de familiaridade técnica ou de negócio.

Para guiar a discussão, o padrão de mapeamento de exemplos utilizando notas coloridas como descrito por (WYNNE, 2015). Com essa estrutura em mente, todos os pontos desconhecidos previamente identificados são registrados como perguntas, evitando que a discussão se desvie para tópicos fora do escopo naquele momento.

As seguintes perguntas serão adicionadas em notas vermelhas na discussão da primeira história:

- Como a porta é mecanicamente travada?
- Como a porta travada impede a sua abertura?

Após as dúvidas serem anotadas, a discussão segue focada na experiência do usuário, mesmo que alguns aspectos técnicos ainda não estejam totalmente esclarecidos.

4.2.1 História de usuário 1

Para garantir o foco na perspectiva do usuário, a discussão da história será iniciada com a listagem de exemplos concretos, assim como recomendado por Matt Wynne (WYNNE, 2015), pode-se utilizar uma nomenclatura do exemplo capturado como em um episódio de seriado, que é simplificado no formato de "aquele em que...".

Para a primeira história, alguns exemplos podem ser:

- **Aquele em que o usuário estacionou o carro e travou as portas** — situação típica de uso normal, especialmente quando o veículo está em uma área onde pessoas não autorizadas podem tentar acessá-lo. Nesse caso, a intenção do usuário é evidente: as portas devem ser travadas;

- **Aquele em que o usuário tentou travar o veículo que já estava travado** — para o caso em que, talvez por incerteza, o botão de travamento foi pressionado mais de uma vez, para garantir que o veículo realmente estava seguro;
- **Aquele em que uma pessoa não autorizada tentou abrir a porta do veículo travado usando a maçaneta** — como o usuário do veículo previamente acionou o travamento, presume-se que sua intenção era impedir qualquer acesso não autorizado. Assim, neste caso, a maçaneta não deve permitir a abertura da porta.

Destes exemplos concretos, é possível extrair as seguintes regras acerca do comportamento esperado do produto:

- Ao pressionar o botão de travamento, todas as portas devem ser travadas;
- Qualquer porta travada não deve ser aberta ao utilizar a maçaneta.

Um dos principais benefícios da metodologia de desenvolvimento orientado a comportamento já se manifesta neste estágio do processo: Os questionamentos provocados quando a equipe se coloca no lugar do usuário final e que surgem de forma natural em um ambiente de discussão colaborativa sobre a história do usuário e exemplos concretos.

Por exemplo, ao definir a primeira regra — “ao pressionar o botão de travamento, todas as portas devem ser travadas” — surge uma pergunta instintiva: “E se o veículo já estiver travado quando o botão for pressionado?”. Essas dúvidas enriquecem a especificação e ajudam a prever cenários reais de uso.

Neste exemplo, a história de usuário fornece uma indicação clara da intenção do usuário, expressa pelo valor que se busca alcançar. O objetivo é travar todas as portas, protegendo o veículo contra furtos e impedindo o acesso de pessoas não autorizadas. Diante disso, independentemente do estado inicial do veículo, o comportamento esperado do sistema é o de garantir o travamento completo de todas as portas.

Outras perguntas podem também surgir a partir de variações no questionamento original que foi levantado. Por exemplo: seria possível que, em determinado cenário, o veículo estivesse com apenas algumas portas travadas? Poderia haver um estado intermediário, em que nem todas as portas estejam travadas ou destravadas?

Como será detalhado em uma história de usuário futura, tais situações são de fato possíveis — por exemplo, quando o sistema permite o destravamento de portas específicas com o Keyless Access. Ainda assim, a resposta anterior permanece válida: ao acionar o botão de travamento, o sistema deve garantir que todas as portas estejam devidamente travadas.

A segunda regra trata da abertura da porta e estabelece que ela não deve ser permitida quando estiver travada. Esse comportamento é fundamental para a existência de um sistema de travamento, pois assegura que o acesso ao veículo seja restrito a pessoas autorizadas.

Embora existam incertezas técnicas quanto à forma de implementação — seja ela mecânica ou eletrônica —, define-se neste momento que, independentemente da abordagem adotada, uma porta travada não deve abrir quando a maçaneta for acionada. Como nos casos anteriores, as dúvidas ainda existentes serão registradas como perguntas adicionais para orientar futuras discussões da equipe.

Ao fim da discussão, foram capturadas 2 regras e 2 perguntas relativas a essa história de usuário. Está é a representação final das notas coloridas:

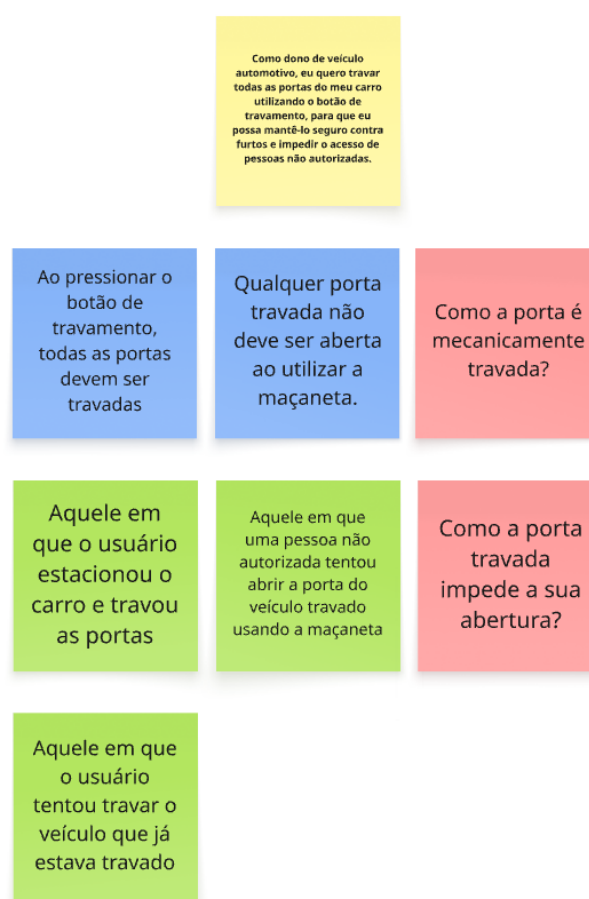


Figura 1 – História de Usuário 1: Travamento de todas as portas.

Antes de seguir para a próxima história de usuário, aqui serão tratadas as perguntas que foram anotadas anteriormente. Esta etapa poderia ser postergada para o final do processo de discussão de exemplos, mas para garantir uma evolução incremental do produto, a próxima história será tratada quando os pontos abertos da atual forem respondidos.

Assim como descrito por (REIF,), sabe-se que existem 2 principais tipos de sistemas

de travamento de porta que podem ser encontrados em veículos modernos:

- Trava mecânica que é operada de maneira elétrica ou pneumática;
- Trava eletrônica que é montada com a trava e os eletrônicos embutidos.

Neste projeto, será implementado uma versão simulada de um sistema de trava eletrônica para se aproveitar de sua simplificação e menor número de componentes mecânicos no produto físico. Tipicamente, nesse sistema as maçanetas não precisam se mover ou podem até serem removidas inteiramente, podendo ser substituídas por botões equipados com sensores que se comunicam com a trava. Além disso, todos os componentes que transmitem o movimento da maçaneta no sistema mecânico aqui são desnecessários, substituídos pela fiação que se liga ao componente.

Embutido na trava eletrônica também é incluído o mecanismo básico de travamento como descrito por (REIF,). Ele é composto por três peças principais: o trinco (1) e engate (2) — que são acoplados à porta — e o pino de batente (3) — que é acoplado ao chassi do veículo. Eles são responsáveis por manter a porta firmemente fechada, conforme ilustrado na imagem a seguir:

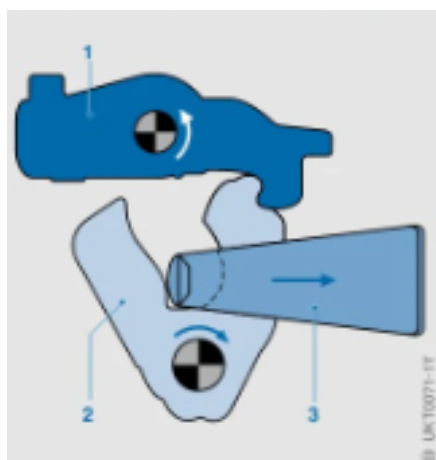


Figura 2 – Mecanismo de travamento da porta (REIF,).

Durante o fechamento da porta, o engate (2) colide com o pino de batente (3) e gira no sentido anti-horário, passando por baixo do pino até retornar à sua posição inicial e fazer contato com o trinco (1). Nesse ponto, a trava encontra-se na posição fechada, exatamente como demonstrado na imagem, e qualquer tentativa de abrir a porta força o engate no sentido horário — movimento que é impedido pela presença do trinco.

Quando a porta está destravada, no entanto, é possível abri-la ao girar o trinco no sentido anti-horário. Esse movimento libera o engate, permitindo que ele se afaste do pino de batente e possibilite a abertura da porta.

No caso da trava eletrônica, o acionamento desse mecanismo é controlado por lógica implementada em software e transmitido por meio de um motor que é mecanicamente conectado ao trinco. Assim, respondendo à segunda pergunta, a porta trava se mantém fechada ao bloquear o movimento do trinco mediante o uso da maçaneta, da mesma forma que a abertura é feita ao mover o trinco.

Para modelar esse comportamento do sistema, o seu escopo pode ser definido em termos de lógica de aplicação e de software básico da seguinte maneira:

- **Lógica de aplicação** - gera saídas em binário para cada porta, definindo se ela está travada ou destravada e se ela deve ser aberta ou mantida fechada;
- **Lógica de software básico** - recebe o sinal de saída em 0 ou 1 e o converte em sinais compreensíveis para o hardware de travamento, que resultam no movimento do motor.

Além do mecanismo de travamento em si, serão utilizados botões para realizar o travamento e abertura das portas. Seu escopo será feito de maneira similar, utilizando valores binários como abstrações dos sinais existentes a nível de hardware que são convertidos no software básico. Em suma, para atender a primeira história de usuário discutida, o modelo do sistema será desenvolvido tomando como base a lógica de aplicação assim como destacado no diagrama abaixo:

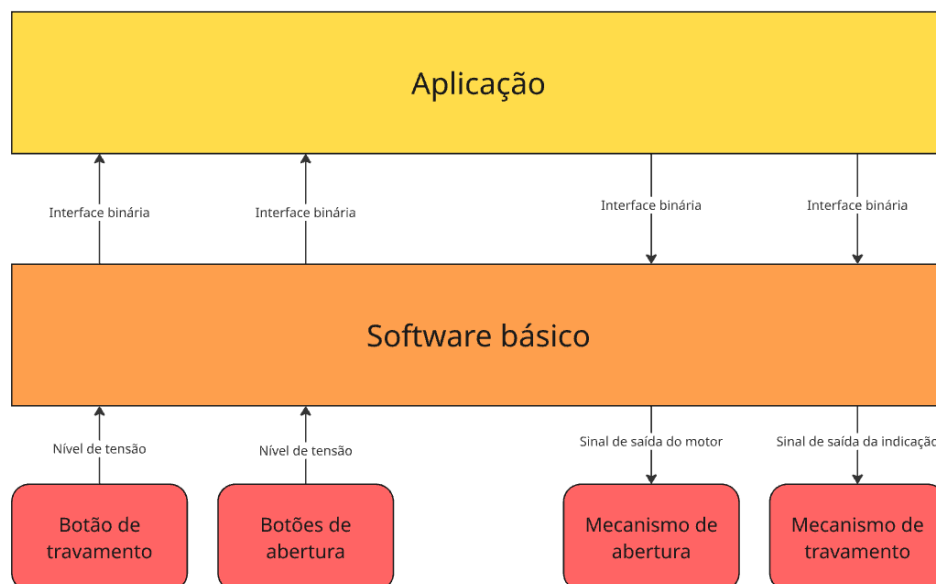


Figura 3 – Diagrama de abstração do sistema em camadas de aplicação, software básico e componentes físicos.

Portanto, para a lógica de aplicação do modelo, receber o valor 1 recebido pela interface binária do botão de travamento é interpretado como um comando de pressionamento, da mesma forma que o valor 1 na interface do botão de abertura indica que a

maçaneta foi acionada. No sentido oposto, ao enviar a saída para o software básico, esses valores são interpretados e convertidos em sinais de controle que determinam o movimento do motor.

Na prática, o travamento ou destravamento funciona apenas como uma limitação à abertura das portas e portanto, especialmente no caso da trava eletrônica, não há distinção física evidente entre os dois estados. Para facilitar essa identificação, este trabalho introduz uma indicação adicional, representada pela última caixa na imagem do diagrama. Ela servirá apenas para indicar o estado atual de cada porta, facilitando a execução dos testes e a validação funcional do sistema.

4.2.2 História de usuário 2

Ao considerar a história de usuário de destravamento das portas, é importante pensar na perspectiva da intenção de acessar o veículo. Isso é uma situação cotidiana que acontece com altíssima frequência, e portanto possui exemplos muito semelhantes a história 1:

- **Aquele em que o usuário destravou as portas e entrou no carro** — situação típica de uso, ocorre sempre que o usuário retorna ao carro e precisa acessá-lo normalmente após o destravamento;
- **Aquele em que algumas portas já estavam destravadas** - caso em que o veículo se encontrava parcial ou totalmente destravado no momento em que o botão de destravamento foi acionado;
- **Aquele em que o usuário abriu a porta que estava destravada** — situação em que, após o destravamento, o usuário acessa o veículo por meio da maçaneta, uma vez que a porta está destravada.

Para satisfazer os exemplos listados, as seguintes regras serão implementadas:

- Ao pressionar o botão de destravamento, todas as portas devem ser destravadas.
- Qualquer porta destravada deve ser aberta ao utilizar a maçaneta.

Ao final, foram capturados 3 exemplos e 2 regras capturadas na história de usuário, o que compõe as seguintes notas coloridas:

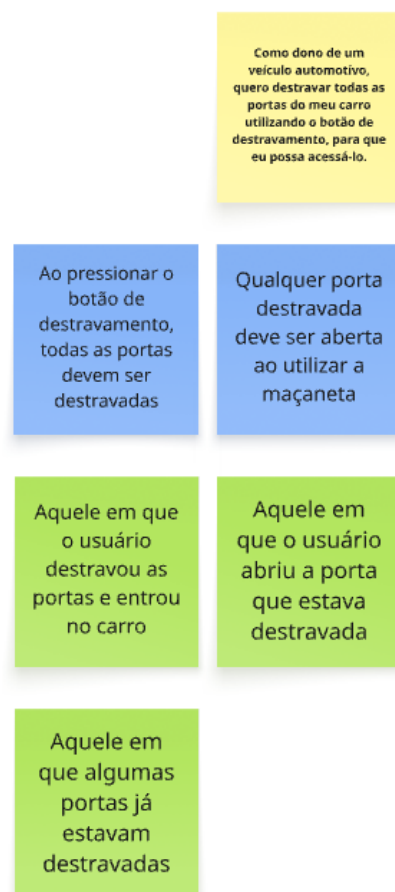


Figura 4 – História de Usuário 2: Destravamento de todas as portas.

Com base nas respostas obtidas na história anterior, diversas incertezas acerca do funcionamento do destravamento das portas já foram determinadas. Sabe-se, por exemplo, que a porta destravada possui uma indicação de estado e que, ao pressionar o botão de abertura, a saída do modelo deve informar ao software básico que o mecanismo da porta deve ser liberado — ação que será realizada por meio do sinal de controle enviado ao motor.

A única distinção nesta história é a introdução de um novo botão: o botão de destravamento. Ele exige uma interface semelhante à descrita anteriormente, sendo igualmente interpretada pelo software básico como um valor de tensão e convertido em um sinal binário que indica o estado atual do botão.

4.2.3 História de usuário 3

A indicação da confirmação de travamento ou destravamento do veículo tem a grande importância de permitir que o usuário esteja assegurado de que o seu comando foi recebido e executado pelo veículo. Ela deve portanto ser invocada sempre que o usuário estiver utilizando as histórias mencionadas anteriormente, além de capturar os seguintes exemplos:

- **Aquele em que o usuário travou seu veículo e ficou na dúvida se as portas foram travadas ou destravadas** - caso em que o usuário utiliza o botão de travamento e espera que o seu veículo seja assegurado. Deve invocar uma indicação distinta da indicação de destravamento;
- **Aquele em que o usuário destravou seu veículo e ficou na dúvida se as portas foram travadas ou destravadas** - caso em que o usuário utiliza o botão de destravamento e espera que o seu veículo seja destravado. Deve invocar uma indicação distinta da indicação de travamento;
- **Aquele em que o usuário tentou travar seu veículo sem perceber que uma das portas ficou aberta** - pode acontecer quando uma ou mais portas ficam abertas por conta de alguém esquecer de fechá-la. Neste caso, mesmo travando a porta que está aberta, o veículo ainda não fica seguro contra o acesso indevido e portanto deve invocar uma indicação de falha.

As regras que cobrem os exemplos listados são:

- O veículo deve indicar que foi travado ou destravado com sucesso utilizando sinais distintos para cada comando;
- O veículo deve indicar com um sinal de falha quando pelo menos uma das portas está aberta ao receber o comando de travamento.

O último exemplo levanta questões que precisam ser exploradas por meio de perguntas e trazem consigo um novo fator que o sistema deve considerar: O estado de abertura das portas. Para isso, as seguintes perguntas são criadas:

- Como o sistema detecta se uma porta está aberta ou fechada?
- É possível travar ou destravar uma porta que está aberta?

Dessa forma, essa história de usuário foi mapeada com 3 exemplos, 2 regras e 2 perguntas, da seguinte maneira:

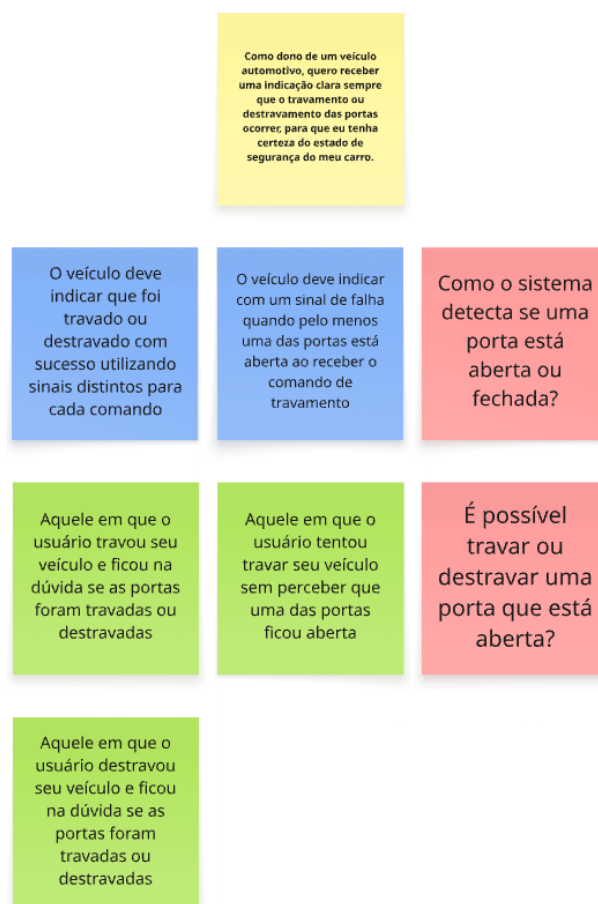


Figura 5 – História de Usuário 3: Feedback de travamento.

A investigação das perguntas levantadas envolvem detalhes que dependem diretamente da implementação física do produto. Para respondê-las, é necessário compreender como um sistema veicular real consegue identificar se as portas estão fisicamente abertas.

Esta detecção é normalmente feita por meio de sensores ou mecanismos capazes de indicar quando a porta está entreaberta (estado ajar). Um exemplo é apresentado em (REFRIGERATOR..., 1984), que descreve o uso de switches físicos: eles são pressionados quando a porta está completamente fechada e liberados quando a porta se abre.

Esse tipo de sensor pode ser integrado de forma semelhante às interfaces binárias utilizadas nos botões de travamento e destravamento, empregando sinais binários (0 ou 1) para representar os estados "fechada" ou "aberta" da porta. Com essa informação, o sistema pode combinar o estado físico da porta com a entrada da interface do botão de travamento para determinar quando o alerta para o usuário deve ser realizado.

É importante destacar que, embora o controle de abertura da porta seja gerenciado pelo sistema, a utilização de um sensor continua sendo essencial para determinar seu estado real. Esse cenário é comum no controle de componentes mecânicos, em que parte do comportamento não é governada diretamente pela lógica de software ou eletrônica.

No caso em questão, a saída final do sistema de travamento consiste no acionamento

do motor que movimenta o trinco e libera o mecanismo da trava, permitindo que a porta seja aberta. No entanto, uma vez que essa ação é executada, o sistema não tem como saber se o usuário realmente abriu a porta — ou se, após abri-la, voltou a fechá-la — sem o auxílio de um sensor. Isso ocorre porque a abertura da porta é uma ação mecânica realizada pelo usuário, sendo apenas condicionada, e não diretamente executada, pelo sistema eletrônico em desenvolvimento.

Além disso, o travamento e destravamento das portas é realizado de maneira independente do estado da porta e pode ser realizado mesmo que ela esteja aberta. Isso deve-se ao fato de que o controlador eletrônico é responsável por definir quando o mecanismo da trava deve ser acionado. Caso a porta esteja destravada, esta ação é tomada após o pressionar do botão de abertura da porta.

Em termos práticos, isso significa que não existe diferença física entre uma porta travada ou destravada, este é apenas um estado que é virtualmente definido pelo controlador. É importante ressaltar que travar uma porta aberta ainda não satisfaz a condição de assegurar o veículo, como definido na primeira história de usuário e por conta disso o alerta do usuário se vê necessário.

4.2.4 História de usuário 4

A funcionalidade de Keyless Access permite o destravamento individual das portas assim que o usuário aciona a maçaneta de uma porta travada, desde que a chave autorizada esteja presente em sua posse. Os exemplos de uso dessa funcionalidade são bastante semelhantes aos do destravamento convencional, pois refletem situações em que o usuário tem a intenção de acessar o veículo.

Neste estágio, ainda não foi definida a tecnologia que será utilizada para a identificação da chave. Por isso, essa incerteza será tratada por meio de uma pergunta associada a esta história de usuário.

Os exemplos capturados na discussão da história são:

- **Aquele em que o usuário tinha a chave no bolso e usou a maçaneta** — Este é o caso típico de uso da funcionalidade: a chave autorizada está próxima e é reconhecida pelo sistema, permitindo o destravamento imediato da porta acionada;
- **Aquele em que outra pessoa abriu outra porta simultaneamente** — Neste caso, mais uma porta é aberta simultaneamente, possivelmente por alguém acompanhando o dono do veículo. O sistema deve tratar as portas de forma independente, e portanto ambas devem ser destravadas individualmente, permitindo o acesso simultâneo;

- **Aquele em que o usuário destravou a porta e a fechou de novo** — Após acessar o veículo utilizando o Keyless Access e em seguida fechar a porta, o sistema deve manter a porta destravada até que o usuário execute explicitamente o comando de travamento. Isso garante que a intenção do usuário seja respeitada e evita travamentos não intencionais.

Para cobrir os exemplos, as seguintes regras serão utilizadas:

- Qualquer porta que tiver sua maçaneta utilizada deve ser destravada desde que a chave esteja próxima ao veículo;
- A porta deve ser mantida destravada após a operação de Keyless Access.

O mapeamento de exemplos dessa história na forma de notas coloridas é composto por 3 exemplos, 2 regras e 1 pergunta:

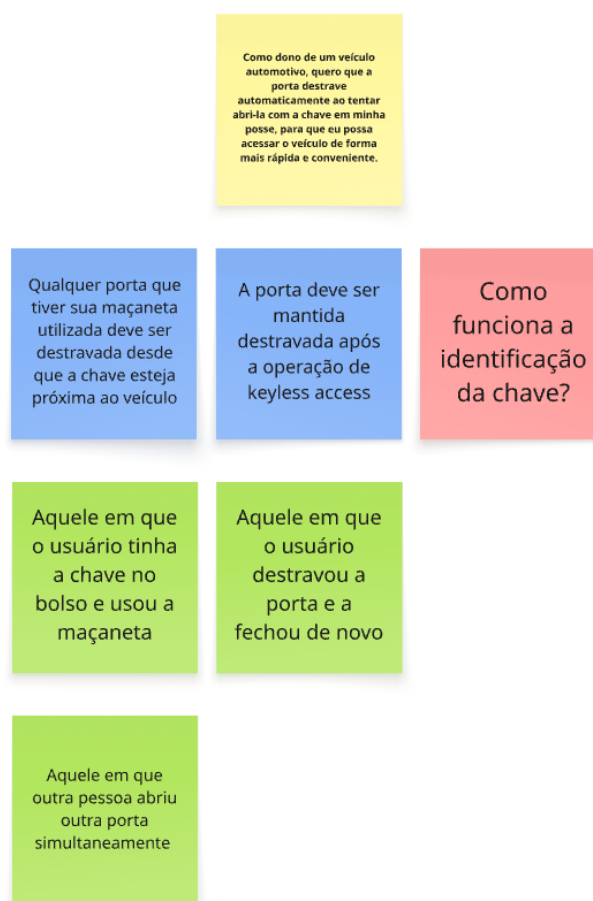


Figura 6 — História de Usuário 4: Keyless Access.

Por fim, uma nova pergunta foi levantada no mapeamento de exemplos da história e deve ser respondida antes do trabalho na próxima história. Para fazê-lo, é preciso investigar

alguma opção de tecnologia que possa ser utilizada para representar a validação de chave de usuário.

A implementação de sistemas de detecção de chave, conforme descrito por (GLOCKER; MANTERE; ELMUSRAT, 2016), costumam utilizar módulos de comunicação por rádio-frequência (RF), capazes de estabelecer conexão com um dispositivo autorizado. A validação desse dispositivo pode ser realizada por meio de diferentes métodos e protocolos de segurança, que incluem mecanismos de autenticação mútua entre a chave e o veículo. Esses protocolos aumentam a robustez do sistema contra tentativas de acesso não autorizado.

Em casos mais simples, como demonstrado em (Arduino Get Started,), o sistema utiliza um sensor RFID (Radio Frequency Identification) e uma tag que contém uma chave de identificação única. O funcionamento baseia-se na transmissão do identificador por meio de um sinal de rádio quando a tag é aproximada do sensor. O sensor, por sua vez, envia o código recebido ao microcontrolador, que o compara com um identificador previamente armazenado em sua memória. Caso haja correspondência, a chave é considerada válida e o acesso é autorizado.

Esse tipo de autenticação, no contexto da arquitetura AUTOSAR, é normalmente responsabilidade de um componente específico do software básico pertencente à pilha de cibersegurança. Esse componente, conhecido como Key Manager (AUTOSAR, 2024), fornece serviços utilizados para a validação de chaves, utilizando diferentes protocolos de segurança. Ele também se comunica com a unidade de memória do controlador para acessar os dados das chaves previamente registradas.

Considerando a presença desse componente no sistema AUTOSAR, será adotada novamente uma abstração da tecnologia de hardware envolvida, por meio de uma interface binária. Nesse cenário, a verificação da chave de identificação em relação ao valor armazenado em memória é realizada pelo Key Manager e o resultado dessa validação é então comunicado à aplicação de forma semelhante ao funcionamento dos botões de entrada: por meio de um sinal binário que indica se a chave foi validada (1) ou não (0).

4.2.5 História de usuário 5

A funcionalidade de auto travamento é comumente implementada para contemplar diferentes cenários de uso do veículo. Neste caso específico, o foco está na situação em que as portas são destravadas de forma não intencional. Antes de apresentar os exemplos, será feita uma definição do que se entende por "não intenção" por parte do usuário, considerando que, na prática, essa intenção precisa ser inferida com base nas entradas disponíveis no sistema.

Esse tipo de questão costuma ser capturado em perguntas, nas notas vermelhas,

para que possa ser investigado após o mapeamento de exemplos. No entanto, para essa história é essencial que a definição de não intencional seja feita, pois ela definirá com clareza que exemplos de uso devem ser mapeados.

De modo geral, o destravamento das portas tem como objetivo permitir o acesso ao veículo, o que se concretiza quando o usuário abre pelo menos uma das portas. Utilizando esse critério, a ausência da abertura das portas dentro de um determinado intervalo de tempo após o destravamento pode ser interpretada como um indicativo de que o usuário não teve a intenção consciente de destravar o veículo.

Essa condição também é presente em veículos Volkswagen, assim como descrito no manual do usuário (Volkswagen,). Segundo ele, o veículo realiza o travamento automático em até 45 segundos após ter sido destravado, desde que, entre outras possíveis condições, nenhuma das portas tenha sido aberta. A fim de tornar a ação de travamento automático mais rápida e facilitar a execução dos testes, o tempo de espera para essa condição será reduzido para 15 segundos neste trabalho.

Adicionalmente, o estado inicial das portas no momento do destravamento também é de relevância para esse comportamento. Nos casos em que o veículo não estava completamente travado previamente, infere-se que o usuário não possuía a intenção de garantir a segurança do veículo, mesmo antes do botão de destravamento ser pressionado, e portanto ele não precisa ser travado novamente.

Sabe-se que o principal objetivo do travamento do veículo é garantir sua segurança contra furtos e impedir o acesso de pessoas não autorizadas. No entanto, existem cenários em que o usuário pode intencionalmente optar por deixar o veículo destravado, mesmo que não pretenda acessá-lo de imediato. Um exemplo disso seria quando o veículo é deixado em uma garagem particular, onde o usuário deseja mantê-lo acessível para buscar um item posteriormente ou por qualquer outro motivo, sem a necessidade de utilizar novamente a chave ou o sistema de Keyless Access.

Para contemplar essa situação e permitir que a intenção do usuário seja respeitada, é necessário que exista pelo menos uma regra específica que permita o destravamento completo, sem que seja necessário o acesso ao veículo. Neste caso, será adotada a estratégia de considerar o duplo acionamento do botão de destravamento como uma indicação explícita da intenção de manter o veículo destravado.

Por fim, os exemplos capturados na história são:

- **Aquele em que o usuário destravou mas não foi acessar o carro** — este é o cenário padrão de destravamento não intencional, que pode ocorrer por diversos motivos, como o acionamento acidental do botão de destravamento. Nessa situação, o sistema realizará o travamento automático após um intervalo de tempo pré-definido, interpretando que não houve intenção de acesso;

- **Aquele em que o usuário destravou e foi acessar o carro** — neste cenário, a situação oposta à do exemplo anterior acontece, pois o usuário acessou o veículo, abrindo uma das portas, em tempo. O travamento automático não deve ser acionado neste caso;
- **Aquele em que o usuário pressionou o botão de destravamento duas vezes para manter o carro destravado sem precisar abrir uma porta** — Quando for da intenção do usuário deixar o veículo destravado sem abrir nenhuma porta, a função de travamento automático será inibida mediante o duplo acionamento do botão de destravamento. Essa ação será interpretada como uma indicação explícita da intenção de manter o veículo acessível;
- **Aquele em que o usuário destravou o veículo quando ele já estava acessível** — refere-se às situações em que o veículo não estava completamente travado inicialmente, seja porque uma ou mais portas já estavam destravadas ou por conta do acionamento repetido do botão de destravamento. Nestes casos, o sistema entende que o usuário já interagiu com o veículo e portanto o travamento automático também não será executado.

Com os exemplos mapeados, o comportamento definido garante que o travamento automático trata em específico os casos em que a ação do usuário indicou que ele não possuía a intenção de mudar o veículo de um estado inicial em que ele está absolutamente seguro contra furtos - todas as portas estavam travadas - para o caso em que qualquer pessoa poderia acessá-lo. As regras que satisfazem os exemplos são:

- Travar automaticamente caso o botão de destravamento seja usado uma vez e nenhuma porta seja aberta;
- Não travar caso o botão de destravamento seja pressionado uma segunda vez;
- Não travar caso o veículo não esteja completamente travado antes do destravamento.

O mapeamento de exemplos dessa história na forma de notas coloridas é composto por 4 exemplos e 3 regras:

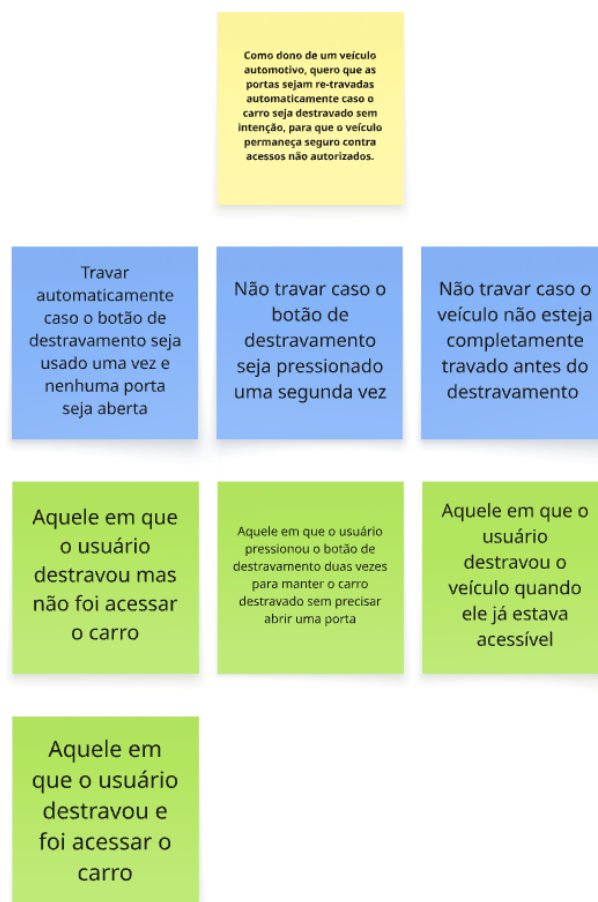


Figura 7 – História de Usuário 5: Travamento automático.

4.3 ETAPA 3: DESENHO DO DIAGRAMA DE CAIXA PRETA

Com todas as histórias de usuário definidas, o próximo passo do trabalho consiste na elaboração do diagrama de caixa preta, com o objetivo de identificar todas as interfaces necessárias para suportar os comportamentos previamente levantados. Essa etapa é essencial para garantir que todas as interações entre o usuário e o sistema estejam claramente especificadas e para suportar a criação dos cenários Gherkin a seguir.

Para dar início ao processo, é necessário listar todas as entradas e saídas do sistema:

Entradas:

- Botão de travamento
- Botão de destravamento
- Botões de abertura das portas (4 no total)
- Sensores de abertura das portas (4 no total)
- Detecção de chave autenticada.

Saídas:

- Indicação de estado de travamento de todas as portas (4 no total)
- Estado da tranca de cada porta (4 no total)
- Feedback para o usuário.

O diagrama é então elaborado com um bloco central representando o sistema, ao qual estão conectadas todas as interfaces previamente listadas. Neste estágio, o bloco central permanece sem conteúdo interno, uma vez que o objetivo é abstrair os detalhes da implementação e focar exclusivamente na definição das interações entre o sistema e o usuário.

Dessa forma, o diagrama assume a seguinte configuração:



Figura 8 – Diagrama de Caixa Preta do sistema de travamento de portas.

De maneira análoga, o modelo desenvolvido no Simulink também deverá adotar uma estrutura semelhante, composta por um modelo de alto nível — que define apenas as entradas e saídas do sistema — e um modelo de baixo nível, responsável por conter toda a lógica funcional implementada.

É importante destacar que algumas interfaces adicionais serão necessárias no modelo do sistema, embora não estejam representadas no diagrama de caixa preta, pois não estão diretamente relacionadas aos comportamentos observáveis pelo usuário. Essas interfaces serão detalhadas posteriormente, durante a etapa de modelagem iterativa, e são fundamentais para suportar aspectos técnicos que garantem o funcionamento correto do

sistema. Um exemplo dessas interfaces é o tempo de simulação, necessário para validar a condição de auto travamento descrita na história de usuário 5.

Para finalizar essa etapa, é necessário definir quais são os valores possíveis que devem ser capturados em cada uma das interfaces criadas neste diagrama:

Quadro 1 – Valores possíveis para as interfaces de entrada e saída

Nome da interface 1	Valores Possíveis
Botão de travamento geral	<ul style="list-style-type: none"> • Pressionado • Solto
Botão de destravamento geral	<ul style="list-style-type: none"> • Pressionado • Solto
Detecção de chave	<ul style="list-style-type: none"> • Presente • Não presente
Botão de abertura de porta (de 1 a 4)	<ul style="list-style-type: none"> • Pressionado • Solto
Sensor de porta aberta (de 1 a 4)	<ul style="list-style-type: none"> • Fechada • Aberta
Indicação de estado da porta (de 1 a 4)	<ul style="list-style-type: none"> • Travada • Destravada
Tranca da porta 1	<ul style="list-style-type: none"> • Segura • Solta
Feedback de travamento	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmação de trava • Confirmação de destrava • Operação falha

Nesta tabela, os valores das interfaces foram descritos de maneira textual, com valores que se aplicam à linguagem natural proposta pela metodologia de BDD. Na prática, todos os valores serão utilizados como enumerações convertidas para um valor numérico que representa o estado da interface.

4.4 ETAPA 4: DESENVOLVIMENTO DOS CENÁRIOS GHERKIN

4.4.1 História de usuário 1

4.4.2 História de usuário 2

4.4.3 História de usuário 3

4.4.4 História de usuário 4

4.4.5 História de usuário 5

4.5 ETAPA 5: MODELAGEM ITERATIVA DO SISTEMA EM SIMULINK

REFERÊNCIAS

- Arduino Get Started. **Arduino – RFID/NFC Tutorial**. Acesso em: 17 jul. 2025. Disponível em: <<https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-rfid-nfc>>. Citado na página 43.
- Atlassian. **Agile Teams**. n.d. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/agile/teams>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 19 e 32.
- AUTOSAR. **AUTOSAR_CP_SWS_KeyManager – Specification of Key Manager**. 2024. Versão R24-11. Acesso em: 02 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.autosar.org>>. Citado na página 43.
- AUTOSAR. **Classic Platform**. n.d. Acesso em: 26 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.autosar.org/standards/classic-platform>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 25.
- Behave. **Behave Documentation**. 2025. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://behave.readthedocs.io/en/latest/>>. Citado na página 22.
- Bosch. **Automotive Handbook**. 9. ed. [S.l.: s.n.], 2022. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 30.
- Cucumber.io. **Cucumber Documentation**. 2024. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://cucumber.io/docs/>>. Citado na página 22.
- Cucumber.io. **History of BDD**. 2024. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://cucumber.io/docs/bdd/history/>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.
- GLOCKER, T.; MANTERE, T.; ELMUSRAT, M. A protocol for a secure remote keyless entry system applicable in vehicles using symmetric-key cryptography. 2016. Citado na página 43.
- LAWRENCE, R.; RAYNER, P. **Behavior-Driven Development with Cucumber: Better collaboration for better software**. 1. ed. Boston, MA: Addison-Wesley Professional, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 17, 21 e 30.
- MathWorks. **Model-Based Design with Simulation**. 2020. Acesso em: 26 ago. 2025. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/white-paper/gated/model-based-design-with-simulation-white-paper.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.
- NORTH, D. **Introducing Behavior-Driven Development**. 2006. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://dannorth.net/introducing-bdd/>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 19 e 20.
- REFRIGERATOR door ajar alarm with variable delay. 1984. Patente US4566285A. Arquivado em 26 de janeiro de 1984. Citado na página 40.
- REHKOPF, M. **User Stories**. 2025. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/agile/project-management/user-stories>>. Citado na página 20.

REIF, K. (Ed.). **Automotive Mechatronics**. P. 490. Disponível em: <https://fliphtml5.com/eraqv/csdz/%5BKonrad-Reif-%28eds.%29%5D-Automotive-Mechatronics__Auto%28z-lib.org%29/293/>. Citado 3 vezes nas páginas 9, 34 e 35.

SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A.; MARTIN, G. Platform-based design and software design methodology for embedded systems. **IEEE Design and Test of Computers**, v. 18, n. 6, p. 23–33, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

SOLIS, C.; WANG, X. **A Study of the Characteristics of Behaviour Driven Development**. 2011. 383–387 p. Doi: 10.1109/SEAA.2011.76. Citado 4 vezes nas páginas 17, 19, 23 e 27.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. Tradução: Ivan Bosnic e Kalinka Oliveira; Revisão técnica: Kechi Hiramã. ISBN 978-85-7936-108-1. Citado na página 26.

Volkswagen. **Funcionamento do sistema de locking – Abrir e fechar**. Manual do ID.4, pág. 76. Disponível em: <https://www.vw.com.br/idhub/content/dam/onehub__pkw/importers/br/literatura-de-bordo/manual-id4/11A.012.766.AH_-_Manual%20de%20instru%C3%A7%C3%B5es_-_ID.4_.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 44.

WYNNE, M. **Introducing Example Mapping**. 2015. Acesso em: 12 jul. 2025. Disponível em: <<https://cucumber.io/blog/bdd/example-mapping-introduction/>>. Citado 3 vezes nas páginas 17, 21 e 32.