

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba  
Departamento de Engenharia Eletrônica  
EL68E - Sistemas embarcados  
Prof. Hugo Vieira Neto

# Documentação de especificação e estudo da plataforma

Renato Böhrer  
Everton Barreto  
André Cassimiro

Curitiba, PR  
14 de junho de 2018

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>2</b>
<b>3. DOMÍNIO DO PROBLEMA</b>	<b>2</b>
3.1. PRÉDIO	2
3.2. ANDAR	2
3.3. ELEVADOR	2
3.4. MODOS DE OPERAÇÃO	4
<b>4. CONTEXTO</b>	<b>5</b>
<b>5. INTERFACES</b>	<b>5</b>
<b>6. ESPECIFICAÇÃO FUNCIONAL</b>	<b>7</b>
<b>7. ESPECIFICAÇÃO NÃO-FUNCIONAL</b>	<b>12</b>
<b>8. ESTUDO DA PLATAFORMA</b>	<b>13</b>

# 1. Introdução

Este documento visa especificar o projeto de um produto que será capaz de realizar o controle do sistema de elevadores de um prédio residencial com 15 andares e 3 elevadores.

## 2. Objetivo

Este produto tem como objetivo realizar o controle do sistema de elevadores de um prédio, simulado por um computador. O produto se comunicará com o simulador via porta serial, recebendo informações do estado dos elevadores (porta aberta, fechada, chegou ao andar, botão apertado, etc.) e responderá adequadamente aos eventos enviando comandos de parada, abertura ou fechamento de porta, etc..

## 3. Domínio do problema

Algumas áreas do conhecimento estão relacionadas a este projeto. Nesta seção, definiremos alguns conceitos importantes para a execução do projeto.

### 3.1. Prédio

Um prédio (ou um edifício) é uma construção civil que possui múltiplos pavimentos.

### 3.2. Andar

Em arquitetura, um andar é definido como um pavimento acima do nível do chão. Deste modo, primeiro pavimento de um edifício é considerado o térreo e o segundo pavimento é considerado o primeiro andar.

### 3.3. Elevador

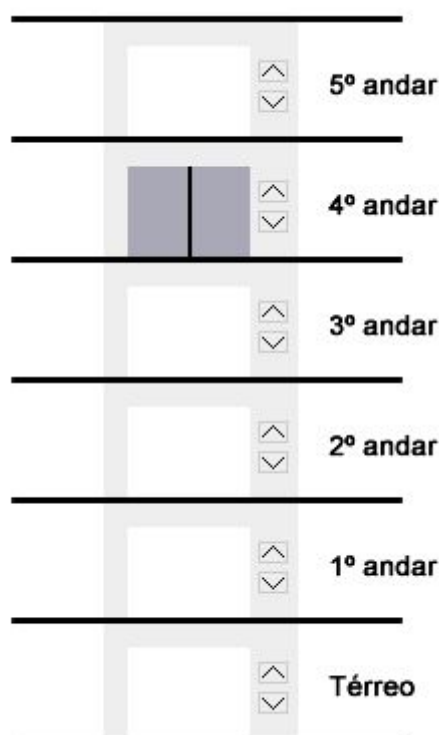
O elevador é um tipo de veículo de transporte vertical, que move pessoas entre andares de um edifício. Os primeiros sistemas de elevadores datam de antes de cristo, quando estes eram controlados manualmente por cordas<sup>1</sup>. Elevadores modernos, no entanto, são controlados por um conjunto de botões acessíveis aos usuários.

---

<sup>1</sup> <https://landmarkelevator.com/history-of-elevator-technology/>

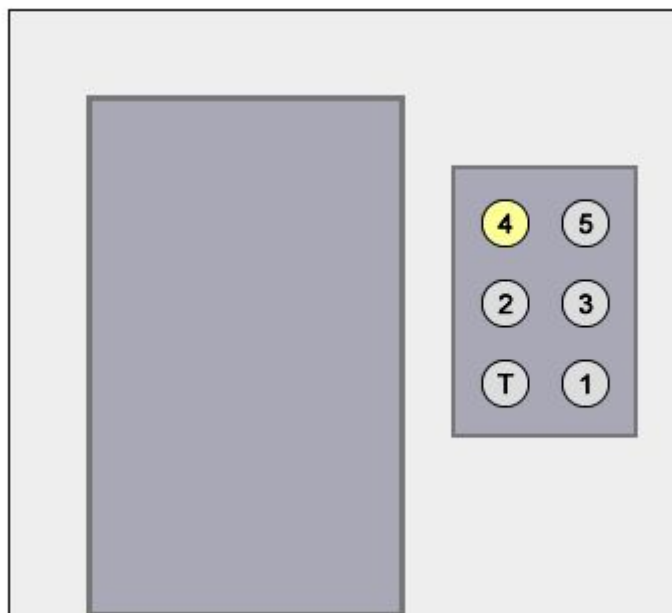
O controle pelos usuários de um elevador se dá na maior parte das vezes pela interação com botões internos e externos ao elevador. Os botões internos do elevador são utilizados para o usuário que estiver dentro dele poder decidir a qual andar ele quer ser levado. Botões externos ao elevador são posicionados em cada andar, podendo ser somente um botão (para chamar o elevador) ou, mais comumente, dois botões (um para indicar que o usuário deseja subir e outro para indicar que o usuário deseja descer).

A vista simplificada de um prédio com 5 andares e somente um elevador (Figura 3.3.1) exemplifica o conceito de andares e dos botões externos. O prédio possui 6 pavimentos (térreo e os 5 andares). Cada andar possui dois botões (sobe ou desce) com o qual o usuário pode interagir para chamar o elevador.



**Figura 3.3.1 - Esquema de um prédio de 6 andares com 2 botões externos**

Similarmente, a vista simplificada do interior deste elevador (Figura 3.3.2) exemplifica o conceito de botões internos. O elevador possui 6 botões para que o usuário possa informar o andar para o qual quer ser levado. Sistemas de elevadores modernos mantêm uma luz indicando quais botões internos foram acionados. Deste modo, quando o usuário aperta algum botão interno, o botão se acende até que o elevador pare no andar correspondente.



**Figura 3.3.2 - Esquema interno de um elevador**

### 3.4. Modos de operação

Existem alguns modos de operação possíveis para um sistema de elevadores, para que eles otimizem o seu funcionamento de acordo com a característica do tráfego no prédio. Características de tráfego predial são em sua maior parte categorizadas como up-peak, interfloor e down-peak.

No up-peak (tráfego de subida), existe um pico de usuários chegando ao prédio e desejando subir. Este caso ocorre, por exemplo, na parte da manhã em prédios comerciais, onde muitas pessoas chegam para trabalhar em horários semelhantes.

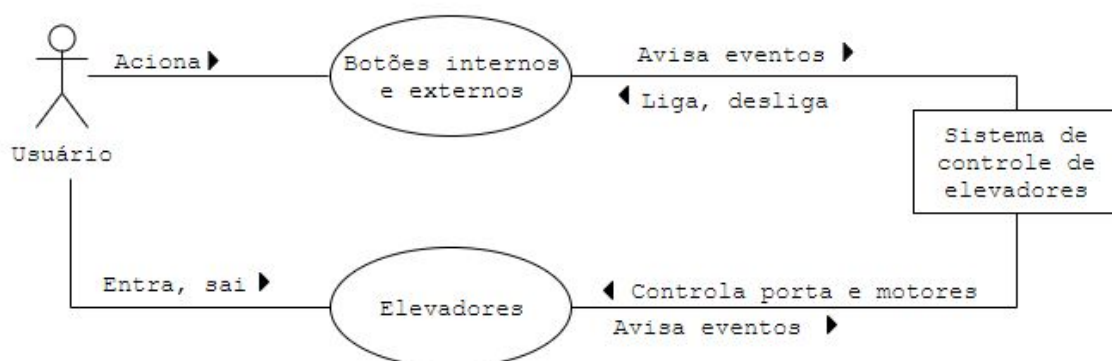
No interfloor (tráfego distribuído nos andares), a maior parte do tráfego ocorre entre andares distintos do edifício. Esta é a característica de tráfego durante o horário de serviço em prédios comerciais.

No down-peak (tráfego de descida), existe um pico de usuários que constituem a população do edifício chamando o elevador, tendo como destino o térreo. Este é padrão de tráfego esperado para um prédio comercial no fim do expediente ou em prédios residenciais.

Outros modos de operação podem ser empregados para situações emergenciais, como, por exemplo, em hospitais, em uma emergência médica o elevador pode ir diretamente ao andar para que os profissionais de saúde cheguem o mais rápido possível ao seu destino.

## 4. Contexto

O contexto deste produto envolve a interface do sistema de elevadores com o usuário (o próprio elevador, botões externos e internos) e o controle dos elevadores.



**Figura 4.1 - Diagrama de contexto**

O usuário interage com o elevador acionando os botões internos e os botões externos ao elevador, entrando ou saindo do próprio elevador. O evento de pressionamento de algum botão é informado ao sistema de controle de elevadores, que age ativando o indicador de que o botão foi apertado. O sistema de controle de elevadores desligará o indicador do botão caso o respectivo destino já tenha sido atendido. Os elevadores enviarão informações relativas a eventos de portas (porta aberta, porta fechada) e posições (elevador chegou a algum andar). O sistema de controle de elevadores controlará a abertura e fechamento das portas e o acionamento dos motores.

## 5. Interfaces

A interface do sistema é constituída de painéis de botões internos e externos e dos elevadores em si. A integração entre estas interfaces se dará pela troca de mensagens. Toda a troca de informações entre o sistema de controle e os painéis de botões e elevadores será realizada via comunicação serial, onde cada mensagem é terminada com o caractere 0xD.

- **botões internos**

- **Envio de informações para o controlador:** serão acionados por usuários que estão dentro da cabine do elevador. Ao ser acionado, será disparada uma mensagem no formato “xIy”, onde x informa qual o elevador (sendo e para o elevador da esquerda, c para o

elevador do centro e d para o elevador da direita) e y informa qual o andar do respectivo botão acionado, codificado de a (para o térreo) até p (para o 15º andar), sequencialmente. Por exemplo, a mensagem “eIf” significa que, no elevador esquerdo, o botão do andar 5 foi acionado.

- **Envio de informações para o elevador:** o controle do indicador dos botões internos será dado pelo envio, do simulador ao elevador, da mensagem no formato “xLy” para ligar o indicador ou “xDy” para desligar o indicador, onde x e y são codificados do mesmo modo que no envio de informações para o controlador.
- **botões externos**
  - **Envio de informações para o controlador:** serão acionados por usuários fora da cabine do elevador. Ao ser acionado, será disparada uma mensagem no formato “xEyyz”, onde x informa qual elevador está sendo chamado (da mesma maneira descrita para os botões internos), yy é o número do andar onde o elevador está sendo requisitado (00 para térreo até 15 para o 15º andar) e z informa se o botão apertado foi o de subir (s) ou descer (d).
- **elevador:**
  - **Envio de informações para o controlador**
    - **Portas:** o elevador comunicará ao controlador eventos de abertura e fechamento de porta através das mensagens “xA” e “xF”, respectivamente, onde x informa qual elevador teve o evento de portas recebido.
    - **Posição:** o elevador comunicará ao controlador eventos de chegada em andares através de mensagens no formato “xn”, onde x informa qual o elevador que chegou ao andar e n é o andar no qual o elevador chegou (de 0, térreo a 15, 15º andar).
    - **Inicialização:** o elevador comunicará ao controlador que ele foi inicializado corretamente através do envio da mensagem “initialized”.
  - **Comunicação para o elevador**
    - **Portas:** o controlador enviará a mensagem “xa” para requisitar a abertura das portas do elevador x e a mensagem “xf” para requisitar o fechamento das portas do elevador x. Os comandos para abertura e fechamento de portas só serão acatados caso o elevador esteja parado em algum andar.
    - **Posição:** o controlador enviará a mensagem “xp” para requisitar a parada do elevador x. O controlador enviará a mensagem “xs” para requisitar que o elevador x comece a subir. O controlador enviará “xd” para requisitar que o elevador x comece a descer. Os comandos para mover o elevador só serão acatados caso o elevador esteja com as portas fechadas.

- **Inicialização:** o controlador requisitará a mensagem “ $\underline{x}r$ ” quando precisar que o elevador  $\underline{x}$  tenha suas informações internas reinicializadas.

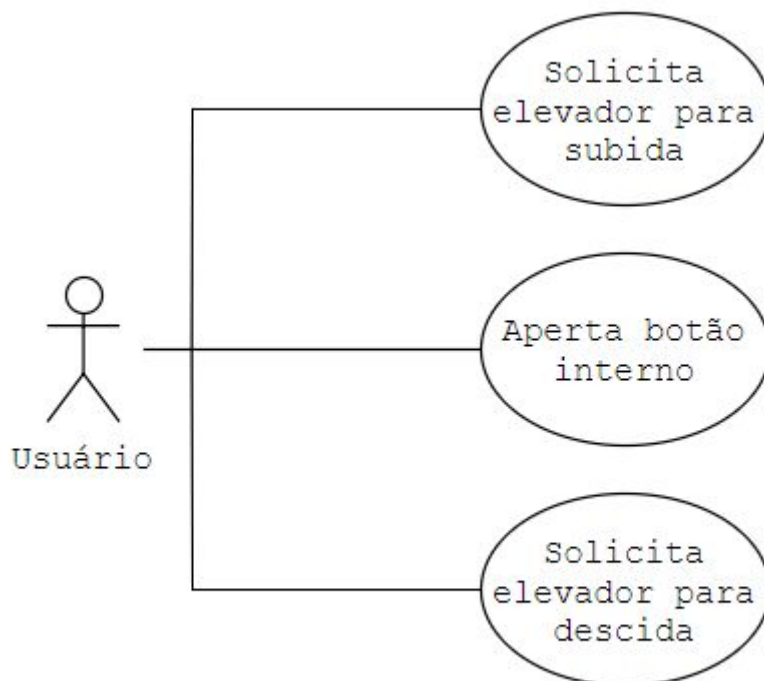
## 6. Especificação funcional

As seguintes funções devem ser desempenhadas por este sistema de controle de elevadores:

- RF01 - O sistema deve operar todos os 3 elevadores de maneira independente.
- RF02 - O sistema deverá manter os elevadores parados e com as portas abertas enquanto não houverem destinos definidos para ele.
- RF03 - O sistema deverá aguardar 5 segundos após a abertura das portas ao parar, para que o usuário possa entrar no elevador e pressionar o botão interno com o destino desejado.
  - RF03.1 - O sistema deverá decidir sobre seu próximo destino somente após o tempo de 5 segundos, para que o destino do usuário que acabou de entrar no elevador seja levado em consideração.
- RF04 - O sistema deve operar em modo down-peak quando um elevador tiver um destino.
  - RF04.1 - O sistema deverá enviar o elevador para o andar mais alto dentre todos os destinos, para então começar a descer.
  - RF04.2 - O sistema deverá parar o elevador caso o elevador esteja subindo e passando por um andar cujo botão de subida esteja ativo.
  - RF04.3 - O sistema deverá parar o elevador caso o elevador esteja descendo e passando por um andar cujo botão de descida esteja ativo.
  - RF04.4 - O sistema deverá dar preferência aos destinos definidos pelos botões internos, depois pelos destinos definidos pelos botões externos de descida e depois pelos destinos definidos pelo botões externos de subida.
- RF05 - O sistema deve controlar o estado dos botões internos
  - RF05.1 - O sistema deve ligar o indicador do botão interno quando ele for pressionado.
  - RF05.2 - O sistema deve manter o indicador do botão interno aceso enquanto o elevador não parar no respectivo destino.
  - RF05.3 - O sistema deve desligar o indicador do botão interno após o respectivo destino ter sido atendido.
- RF06 - O sistema só deve requisitar a subida ou descida do elevador caso ele esteja com as portas fechadas.



- RF07 - O sistema só deve requisitar a abertura de portas caso ele esteja parado em algum andar.

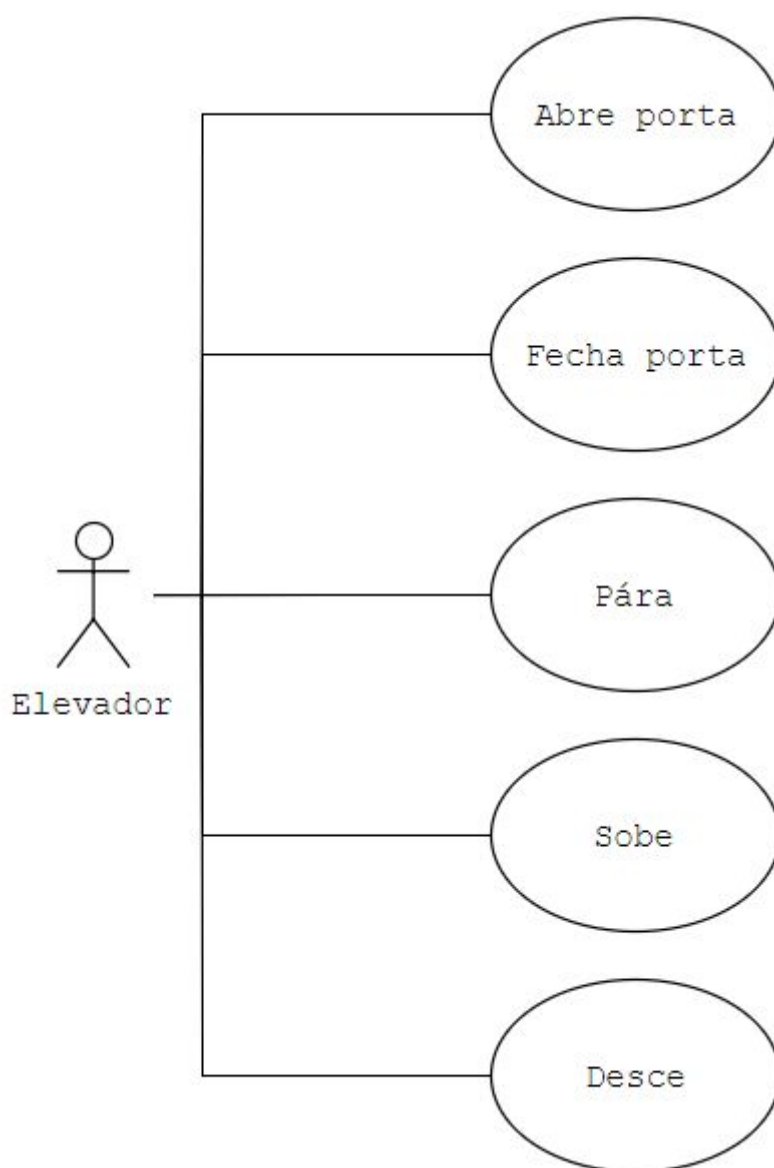


**Figura 6.1 - Casos de uso do usuário**

Caso de uso: solicita elevador para subida	
<b>Ator principal</b>	Usuário
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	O usuário solicita o elevador com intenção de subir de andar, pressionando o botão externo ao elevador
<b>Pré-condições</b>	O botão de subida do andar onde se encontra o usuário não está ativo
<b>Pós-condições</b>	O elevador colocará a intenção de subida do dado andar no cálculo de sua rota

<b>Caso de uso: aperta botão interno</b>	
<b>Ator principal</b>	Usuário
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	O usuário, dentro da cabine do elevador, pressiona o botão do andar para o qual deseja ser levado
<b>Pré-condições</b>	O botão interno do andar para onde o usuário deseja ir não está ativo
<b>Pós-condições</b>	O elevador colocará a intenção de destino do dado andar no cálculo de sua rota

<b>Caso de uso: solicita elevador para descida</b>	
<b>Ator principal</b>	Usuário
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	O usuário solicita o elevador com intenção de descer de andar, pressionando o botão externo ao elevador
<b>Pré-condições</b>	O botão de descida do andar onde se encontra o usuário não está ativo
<b>Pós-condições</b>	O elevador colocará a intenção de descida do dado andar no cálculo de sua rota



**Figura 6.2 - Casos de uso do elevador**

Caso de uso: abre porta	
<b>Ator principal</b>	Elevador
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	Caso de uso para a abertura da porta
<b>Pré-condições</b>	O elevador está parado em algum andar, com a porta fechada
<b>Pós-condições</b>	Após o fim da abertura da porta, espera por 5 segundos antes de decidir sua próxima rota

<b>Caso de uso: fecha porta</b>	
<b>Ator principal</b>	Elevador
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	Caso de uso para o fechamento da porta
<b>Pré-condições</b>	O elevador está parado em algum andar, com a porta aberta
<b>Pós-condições</b>	A porta do elevador está fechada

<b>Caso de uso: pára</b>	
<b>Ator principal</b>	Elevador
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	Caso de uso para parar o movimento do elevador
<b>Pré-condições</b>	O elevador está subindo ou descendo
<b>Pós-condições</b>	O elevador está parado

<b>Caso de uso: sobe</b>	
<b>Ator principal</b>	Elevador
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	Caso de uso para que o elevador se mova em direção aos andares superiores
<b>Pré-condições</b>	O elevador está parado em algum andar, com a porta fechada
<b>Pós-condições</b>	O elevador começa a se mover para cima

Caso de uso: desce	
<b>Ator principal</b>	Elevador
<b>Ator de suporte</b>	nenhum
<b>Descrição</b>	Caso de uso para que o elevador se mova em direção aos andares inferiores
<b>Pré-condições</b>	O elevador está parado em algum andar, com a porta fechada
<b>Pós-condições</b>	O elevador começa a se mover para baixo

## 7. Especificação não-funcional

As especificações seguintes são restrições de aspectos de desempenho que o sistema deve cumprir:

- RNF01 - O sistema deve ser capaz de lidar com a situação onde todos os botões estão ativos, sem perda de informação.
- RNF02 - O sistema deve ser capaz de tratar o caso de múltiplos eventos serem registrados no mesmo instante de tempo, sem perda de informação.

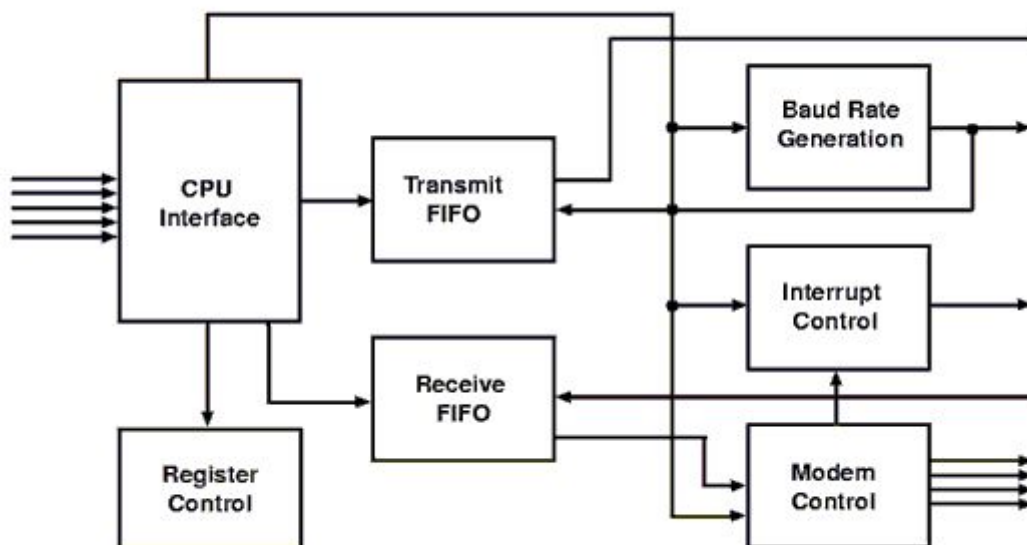
## 8. Estudo da plataforma

O sistema de elevador a ser controlado conta com uma porta COM virtual. Portando apenas um periférico UART do microcontrolador é necessário nesse projeto. A seguir são detalhados o funcionamento e a forma como este periférico será utilizado.

### Descrição do funcionamento

UART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) é um dispositivo padrão em que a comunicação se dá de forma serial, assíncrona e bi-direcional. É usado quando altas taxas de transmissão não são necessárias e a comunicação é feita entre apenas dois dispositivos.

Mesmo sendo defasado, o UART ainda é efetivo. Tem um hardware muito simples e apenas uma linha de transmissão para cada direção. É flexível, suportando configurações na taxa de transmissão e bits de controle. A figura a seguir mostra um diagrama simplificado do dispositivo.



O funcionamento é simples. Primeiramente, o UART que vai transmitir recebe os dados de um barramento em formato paralelo, que são serializados através de um shift-register. Em seguida, são adicionados um bit de início, um de paridade e um de

parada, criando o pacote de dados. Este pacote de dados é enviado em série, bit a bit no pino Tx.

O UART receptor lê o pacote de dados bit a bit em seu pino Rx. O UART receptor então converte os dados de volta para o formato paralelo e remove o bit de início, o bit de paridade e os bits de parada. Finalmente, o UART receptor transfere o pacote de dados em paralelo ao seu próprio barramento de dados.

O formato do pacote de dados é o seguinte:



A linha de transmissão normalmente é mantida em um nível alto quando não está transmitindo dados. Para iniciar a transferência, o transmissor inicia com um pulso em nível baixo por um ciclo de clock. Quando o receptor detecta essa transição, ele começa a ler os bits de dados na taxa de transmissão configurada.

O número de bits de dados pode ser configurado entre 5 bits e 8 bits se um bit de paridade for usado. Se nenhum bit de paridade for usado, os dados podem ter 9 bits. Além disso, normalmente os dados iniciam com o bit menos significativo.

O bit de paridade é uma forma de o UART receptor detectar se algum bit foi alterado durante a transmissão. Depois de ler os dados, ele conta o número de bits com um valor de 1 e verifica se o total é um número par ou ímpar. O resultado deve ser o mesmo do bit de paridade do pacote, 0 para paridade par e 1 para paridade ímpar.

Para sinalizar o final do pacote de dados, o UART transmissor coloca a linha novamente em nível alto com um ou dois bits de parada.

### Planejamento de configuração

O controlador do projeto conta com 5 unidades nativas de UART. Apenas a UART0 será necessária. A configuração definida é:

- Baud rate de 115200 Bd
- 8 bits de dados
- 1 bit de parada
- Nenhum bit de paridade
- Interrupção de UART habilitada

Com o driver fornecido pelo fabricante, a configuração é feita da seguinte forma:

---

```
// O periférico UART0 é habilitado
ROM_SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_UART0);
// Os pinos GPIO A0 e A1 são configurados para a função UART
GPIOPinConfigure(GPIO_PA0_U0RX);
GPIOPinConfigure(GPIO_PA1_U0TX);
ROM_GPIOPinTypeUART(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1);
// A operação da UART0 é definida com os parâmetros especificados
ROM_UARTConfigSetExpClk(UART0_BASE, g_ui32SysClock, 115200,
                        (UART_CONFIG_WLEN_8 |
                         UART_CONFIG_STOP_ONE |
                         UART_CONFIG_PAR_NONE));
// E por fim as interrupções da UART0 são habilitadas
ROM_IntEnable(INT_UART0);
ROM_UARTIntEnable(UART0_BASE, UART_INT_RX | UART_INT_RT);
```

---



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PABLO, Juan. *Otimização de controle de tráfego em grupo de elevadores com algoritmos bioinspirados*. Disponível em:  
<[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20481/1/2015\\_JuanPabloDiagoRodr%C3%ADguez.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/20481/1/2015_JuanPabloDiagoRodr%C3%ADguez.pdf)>.