



CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS DE TELEMETRIA DE MÚLTIPLOS TRANSMISSORES

Autor – Bernardo Serpa Borges

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Curso de Engenharia de Controle e Automação

Av. Ipiranga 6681, – Prédio 30 - CEP: 90619-900 – Porto Alegre – RS– Brasil

Telefone: (51) 9997-0165 (celular) – (51) 3333-0643(residencial) – Email:

bernardo.borges@acad.pucrs.br

Orientador – Júlio César Marques de Lima, Me. Eng.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

LEPUC - Laboratório de Eletrônica de Potência

Av. Ipiranga 6681, – Prédio 30 - Sala 312 CEP: 90619-900 – Porto Alegre – RS– Brasil

Telefone: (51) 3320-3500,ramal: 7688 – Email: jelima@pucrs.br

Resumo. *A Era da Informação está, cada vez mais, transformando o mundo em que vivemos, tornando a coleta e o armazenamento dos dados de operação de diferentes sistemas um processo natural e essencial a sua utilização. Uma vez adquiridos, estes dados podem ser utilizados para monitoramento, controle e consulta futura, a fim de tornar estes sistemas cada vez mais seguros e eficientes. O objetivo deste trabalho consistiu no desenvolvimento e construção de um protótipo de sistema de aquisição de sinais de pressão e temperatura de múltiplos transmissores que utilizem o conceito citado acima para monitoramento em tempo real e documentação em uma base de dados. Este sistema de telemetria recebe os sinais através de uma conexão de rádio frequência na faixa de 433MHz e os transmite a central através da rede GSM. O protótipo construído obteve resultados satisfatórios, uma vez que realizou a efetiva comunicação e que o conceito de um sistema de simples utilização foi atingido.*

Palavras-chave: *telemetria, monitoramento, rádio frequência, rede GSM, pressão e temperatura.*

Abstract. *The Information Age is transforming the world we live, requiring the storage of collected operation data a natural and important process of different systems. Once acquired, this information can be used for monitoring, controlling and future consultation in order to make these systems more secure and efficient. The objective of this project consists in the development and construction of a multiple transmitter signals telemetry acquiring system's prototype that follows the above concept for online monitoring and data base storage. This telemetry system receives the signals by a radio frequency connection and transmits them through a GSM network. As the prototype performed an effective connection and the concept of a simple system was reached, it can be said that satisfactory results was accomplished.*

Key-words. *telemetry, monitoring, radio frequency, GSM network, pressure and temperature.*

1. INTRODUÇÃO GERAL

O presente artigo é composto por quatro partes. O primeiro item, Introdução Geral, apresenta a descrição do problema a ser estudado, a proposta de solução, os objetivos traçados e um referencial teórico acerca do assunto abordado. Posterior a este, o item Metodologia e Dimensionamento do Protótipo expõem as ferramentas e os procedimentos utilizados na realização deste estudo. Resultados Experimentais, terceira parte deste trabalho, é o item que exhibe o protótipo construído, as respostas obtidas em testes de bancada e os custos estimados na construção do mesmo. Ao final deste artigo, são apresentadas uma Conclusão e uma Referência Bibliográfica detalhada.

1.1 Introdução

A competição mercadológica fomenta o desenvolvimento de novas tecnologias que ao serem aplicadas impulsionam a inovação de processos e produtos. Por sua vez, estas criações realimentam a concorrência com a oferta de soluções de maior qualidade, segurança, eficiência e produtividade e, conseqüentemente, acirram a competitividade.

A Engenharia Elétrica é uma das grandes responsáveis pela alta competição presente nos dias atuais. Suas áreas de especialização como a eletrônica, a comunicação, o controle e a automação fornecem tecnologias que, não raramente, são encontradas em produtos e serviços consumidos diariamente ou seus processos produtivos. Dentre estes produtos, os sistemas de sensoriamento e telemetria são exemplos que justificam a afirmativa de que a aplicação de tecnologias a equipamentos trazem retorno aos seus usuários, neste caso, através da disponibilização de informações que auxiliem a tomada de decisão concisa e eficaz, independentemente da área de aplicação.

Estes sistemas de telemetria envolvem, geralmente, estas quatro áreas citadas da Engenharia Elétrica e utilizam de seus conhecimentos para realizar medições e coleta de dados de maneira automatizada em pontos remotos, móveis, de difícil acesso ou locais inviáveis a utilização de cabeamento, e os transmitem para equipamentos de recepção e processamento para devido monitoramento. Eles são compostos por uma diversidade de componentes eletrônicos, tais como resistores, indutores, capacitores, diodos, micro controladores, transmissores e receptores de rádio frequência, displays, reguladores de tensão, entre outros circuitos integrados que ao serem dispostos, conectados e programados de maneira adequada em um circuito eletrônico podem resultar na execução de uma infinita quantidade de funções que atendam ao objetivo proposto.

1.2 Descrição do Problema

Certos ambientes, equipamentos e processos necessitam de monitoramento de suas condições de operação para que exerçam suas funções adequadamente ou para que sejam utilizados com segurança. Sistemas de telemetria são muito utilizados para o monitoramento ou o controle destes, porém para que possibilitem o retorno proposto, é necessário, além de um instrumento adequado para sensoriamento, um bom equipamento de interface com o usuário, que lhe possibilite regular os parâmetros de operação de acordo com a situação em que está sendo aplicado e que lhe disponibilize as informações de forma não abstrata, de acordo com o perfil técnico e operacional do utilizador. A automação, parcial ou total, das operações a serem

executadas, também é importante, quando possível, pois possibilita a redução dos custos operacionais e de mão de obra, adiciona segurança e produtividade, e aumenta os níveis de qualidade eliminando possíveis erros humanos.

1.3 Descrição da Proposta

Este trabalho tem por proposta o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de aquisição de sinais de pressão e temperatura ambiente de múltiplos transmissores, através de conexão de rádio frequência, que apresente as informações de forma agradável ao usuário primário e as transmita a uma central de controle através da rede GSM para documentação e análise em estudos posteriores, podendo, assim, ser utilizada em aplicações de telemetria automotiva para operações de alto nível de segurança e eficiência.

1.4 Principais Objetivos

Após sua conclusão, este trabalho disponibilizará documentação técnica acerca do assunto estudado, assim como, servirá de plataforma de testes de sensores de telemetria compatíveis.

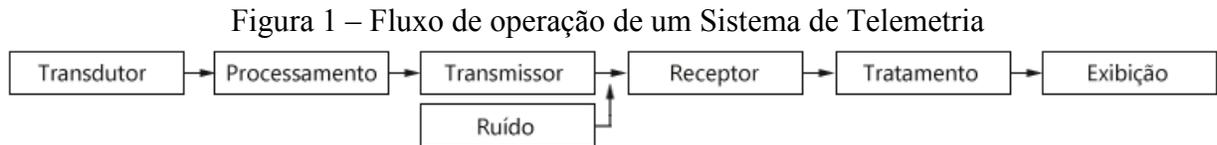
1.5 Referencial Teórico

Neste Referencial Teórico estão apresentados, de forma sucinta, tópicos relacionados a conceitos, retirados de livros e da internet, vistos como necessários para a fundamentação teórica deste artigo.

1.5.1 Sistemas de Telemetria

Telemetria é definida como o ato de se fazer medições de parâmetros específicos, geralmente, em locais remotos, móveis, de difícil acesso ou em ambientes com a presença de condições adversas, como alto nível de umidade, presença de gases perigosos, pressão ou temperatura extremas e transmiti-los a uma central aonde é feito o monitoramento ou o controle de processo [1]. Ela é muito utilizada por estações meteorológicas, as quais necessitam a aquisição de dados de locais afastados, que são enviados a uma centralizadora, responsável pelo processamento e documentação destas informações, para monitoramento e posterior consulta. O setor industrial é outro grande usuário destes sistemas, pois as dimensões de suas fábricas e as condições fabris encontradas em seu ambiente industrial convergem a sua utilização. Neste cenário, a reunião de toda a informação em apenas uma central de controle permite o monitoramento das condições de operação de toda a planta em apenas um local [2], facilitando o gerenciamento do processo de forma automatizada e a tomada de decisão em situações incomuns. Esta tecnologia também é vista em diversas áreas de pesquisa, como a ecologia marinha, aonde equipamentos de monitoração são acoplados a baleias e outros seres marinhos para o estudo de suas atividades rotineiras. Entretanto estes sistemas vieram a ser muito desenvolvidos e amplamente utilizados apenas nas últimas décadas, quando uma grande quantidade de dados passou a ser possível de ser facilmente manipulada, armazenada e processada por um computador, para então ser exibida e ou utilizada como instruções de controle de processo.

Um sistema básico de telemetria é composto por, pelo menos, duas partes, sendo uma delas os chamados sensores, tipicamente, responsáveis pela coleta, codificação e transmissão de dados. Estes sensores são compostos por transdutores, que possuem como saída dados mensurados, que após processados, passam a ser denominados sinais, estes são transmitidos a longa distância, através de um meio de conexão escolhido como cabo, rádio frequência, micro-ondas, ultrassom, raio laser, fibra óptica ou outros [2]. Um segundo dispositivo recebe estes dados e os processa podendo, não apenas, apresentá-los em uma unidade não abstrata ao usuário, como também, documentá-las ou utilizá-las na geração de um sinal de retorno para que o processo seja controlado. Um esquema apresentando as etapas da telemetria está descrito na Figura 1.



Fonte: Autorial Própria

Os sistemas de telemetria são classificados entre analógicos e digitais, contudo o maior fator a ser considerado na escolha de um sistema destes é o seu canal de transmissão, que possui como principais características a sua capacidade de transportar informação, potência, largura de banda, relação de sinal/ruído e a confiança na transmissão. A classificação dos meios de transmissão pode ser feita com base em sistemas com fio e sem fio (*wireless*). Nos canais mecânicos, pneumáticos ou com fio, a transmissão acontece diretamente da fonte coletora de dados para a estação receptora. Nos casos de curta distância através de variáveis como, tensão, corrente e pressão. Para médias e longas distâncias a telemetria utiliza técnicas mais apropriadas de codificação como modulação, aonde as variáveis de processo são convertidas em sinais elétricos ou eletromagnéticos de acordo com alguns padrões de codificação, como Modulação por Largura de Pulso, Modulação em Amplitude, Modulação em Fase, Modulação em Frequência e Modulações por Chaveamento, como Chaveamento de Amplitude e de Frequência.

Fundamentalmente, esses sistemas operam por longos períodos de tempo e exigem pouca manutenção, especialmente os que se comunicam por conexão *wireless*, tecnologia mais utilizada atualmente. Estes sistemas sem fio são mais vantajosos, visto que não sofrem com problemas comuns como rompimentos de cabos, possuem respostas rápidas, custo de implantação inferior, fácil realocação e instalação em regiões remotas ou em movimento.

1.5.2 Transmissão via Rádio Frequência

Uma das necessidades fundamentais do homem, segundo a Pirâmide de Maslow, é a de se relacionar com outros seres humanos, relacionamento este que pode ser feito através da comunicação. Esta necessidade de interação incentivou o desenvolvimento de tecnologias de comunicação que superassem limitações como a distância, por exemplo, a transmissão por rádio frequência, RF, que vem sendo cada vez mais utilizada.

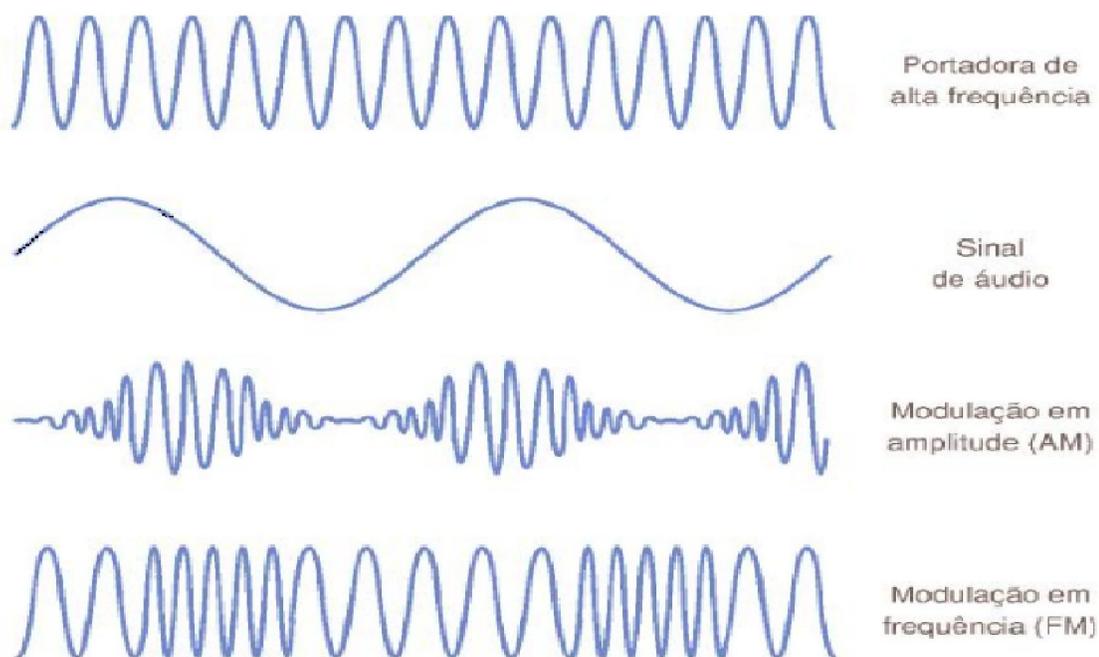
Essencialmente, a comunicação via rádio frequência acontece entre um transmissor, emissor de ondas eletromagnéticas que viajam praticamente à velocidade da luz, e um receptor, responsável por recebê-las. Este sistema de comunicação ocorre por ondas que oscilam em uma faixa de frequência que vai de 3KHz até 300GHz, esta inversamente proporcional ao seu comprimento de onda, e seu dimensionamento depende de duas características fundamentais. A

primeira é o alcance no qual é possível se transmitir informação e a segunda é a quantidade de informação que é possível de ser enviada em um determinado período de tempo.

O alcance, por sua vez, é determinado por três fatores, potência, linha de visão e sensibilidade de recepção. O primeiro é medido em dB, unidade logarítmica de Watts, e o segundo, conhecido por *Line of Sight*. Apesar do nome, ele não depende apenas da existência de um campo de visão livre entre as duas antenas, mas também da *Fresnel Zone*, que é a área ao redor da linha de visão por onde as ondas se espalham na transmissão, área esta que deve estar livre de obstáculos para que o sinal não perca força. O terceiro se refere ao mínimo nível de sinal que é possível de ser demodulado no receptor, após a atenuação ocorrida no meio transmissor.

Por fim, o processo de modulação, Figura 2, adiciona a informação desejada a uma onda transmissora chamada de portadora, responsável por carregar o sinal desejado até o seu destino, aonde ocorre o processo contrário, de retirada da informação do sinal recebido, chamado de demodulação.

Figura 2 – Processo de modulação



Fonte: retirado de [14]

1.5.3 GSM e GPRS

A comunicação móvel e suas tecnologias têm revolucionado cada vez mais a vida de seus usuários, uma vez que a integração deste tipo de serviço com outros equipamentos e tecnologias proporciona novas soluções todos os dias. A primeira geração de rede de celulares, implantada entre as décadas de setenta e oitenta, utilizava padrões analógicos de telecomunicação para a troca de dados entre os aparelhos, porém fatores limitantes como o elevado nível de ruído e o limitado tráfego de dados forçaram o desenvolvimento de novas gerações de redes como a GSM, *Global System for Mobile Communications* ou Sistema Global para Comunicações Móveis, e a GPRS, *General Packet Radio Service* ou Serviço de Rádio de Pacote Geral, que são padrões que

utilizam tecnologias digitais, com maior proteção a perda de dados na comunicação e que unificam os diferentes padrões utilizados na primeira geração em um só.

Um sinal digital tem um limitado número de amplitudes aceitas pelo sistema, por exemplo, sinais binários aonde o valor um pode ser representado por uma tensão de cinco Volts e o valor zero representado por uma tensão de zero Volt. Neste caso, pode ser dito que o sinal processado e transmitido através do meio é imune a influência de ruídos, uma vez que pode ser pré-definido que as tensões acima 2,5 Volts resultam no valor de um e as abaixo no valor de zero [7].

O desenvolvimento da rede GSM possibilitou que as redes de telefonia celular fossem usadas para transmissão não apenas de voz, mas também de dados, através de novas tecnologias como a do SMS, *Short Message Service* ou Serviço de Mensagens Curtas. Essas novas tecnologias, por sua vez, podem ser utilizadas em diversas aplicações como na automação de sistemas de telemetria, com a transferência de dados entre dois equipamentos ou entre um equipamento e uma central, localizados a até muitos quilômetros de distância. Os dados enviados a uma central podem conter informações de sensoriamento, a fim de armazenamento em um banco de dados e posterior análise, ou também comandos para que atuadores executem ações pré-programadas em suas rotinas de operação.

Cada mensagem, devido ao protocolo utilizado, é limitada a até 160 caracteres, no caso de utilização de alfabetos latinos, e 70 caracteres para alfabetos chineses ou árabicos.

2. METODOLOGIA E DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO

A metodologia utilizada neste projeto está descrita abaixo em três itens, introdução, diagrama descrevendo a metodologia utilizada e finalizando com uma breve descrição de cada um dos passos.

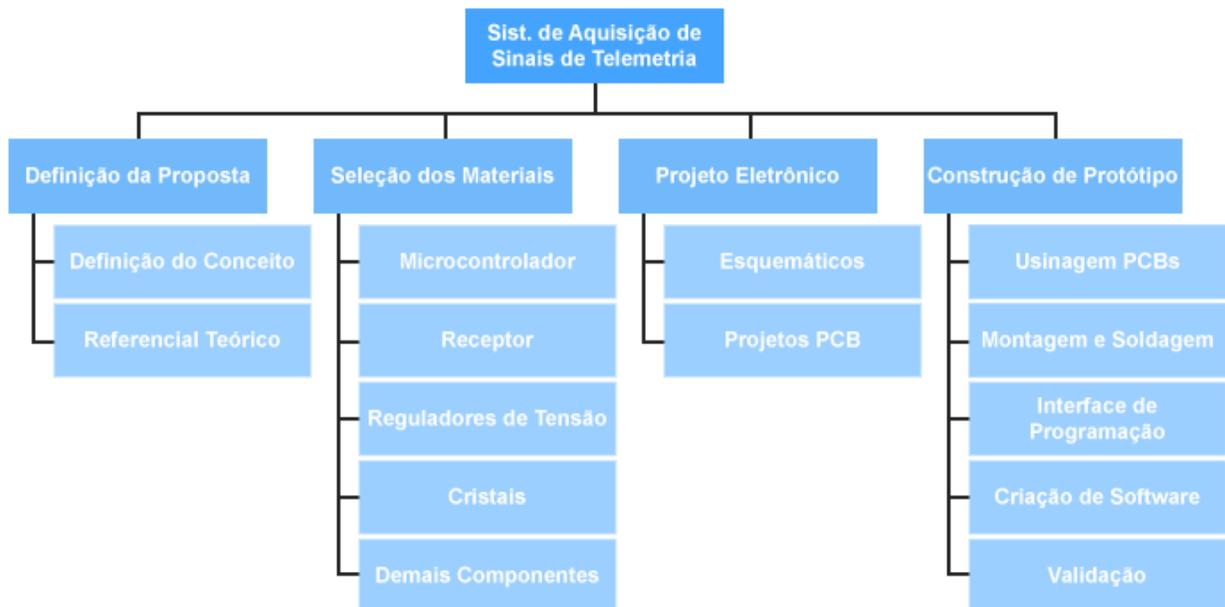
2.1 Introdução

Este item apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento do trabalho. Um diagrama de trabalho do projeto indica as principais etapas a serem vencidas. Os componentes utilizados na construção do protótipo serão dimensionados e os métodos de cálculo serão apresentados.

2.2 Diagrama descrevendo a metodologia utilizada

A Figura 3 apresenta um diagrama que sumariza as principais etapas realizadas na elaboração deste trabalho.

Figura 3 – Diagrama de trabalho do projeto



Fonte: Autoria Própria

2.3 Breve descrição da metodologia

A seguir serão descritas as etapas da metodologia empregada conforme ilustra o diagrama da Figura 3.

2.3.1 Definição da proposta

Para a definição da proposta foi necessário ser estabelecido um conceito do sistema a ser construído e um referencial teórico que fundamentasse os conhecimentos necessários para o desenvolvimento do mesmo.

2.3.1.1 Definição do conceito

Foi definido que o projeto atenderia as funcionalidades de um sistema de aquisição de sinais de telemetria de múltiplos transmissores, responsável pela recepção de sinais de rádio frequência com informações de pressão e temperatura, enviados de sensores compatíveis, pelo tratamento e apresentação dos mesmos em uma interface homem-máquina, aonde o usuário poderia interagir com o equipamento, e pela transmissão destes para uma central, através da rede GSM, aonde os dados seriam armazenados para posterior análise.

2.3.1.2 Referencial teórico

Uma vez definido o conceito deste projeto, um estudo dos conhecimentos necessários foi realizado em livros e em sites da internet e seu resumo, contendo alguns dos princípios básicos vistos, disposto no item 1.5 do presente trabalho.

2.3.2 Dimensionamento e seleção dos materiais

Um dos passos fundamentais à viabilização de um projeto é a seleção dos materiais, pois a sua execução só será possível caso todas as premissas do projeto possam ser atendidas por materiais que estejam disponíveis, visto que fatores como descontinuidade de produção, indisponibilidade, prazo de entrega elevado, lote de compra mínimo e alto custo de aquisição são determinantes à viabilização do mesmo. Abaixo estão descritos os principais materiais que compõem este projeto, assim como os seus cálculos de dimensionamento, quando necessários.

2.3.2.1 Receptor

O primeiro componente a ser selecionado foi o receptor, uma vez que os sensores compatíveis com o conceito definido, disponíveis no mercado, possuem características específicas e que são necessárias de serem atendidas para que a comunicação aconteça com sucesso. Os sensores de telemetria escolhidos para serem compatíveis com o protótipo desenvolvido utilizam a transmissão de dados por RF a uma frequência, segundo o fabricante, de 433,92 MHz e se comunicam por modulações por Chaveamento de Amplitude, ASK, ou por Chaveamento de Frequência, FSK.

Foi então escolhido um receptor da fabricante Infineon, código TDA-5210, o qual apresenta características comuns aos sensores de telemetria escolhidos. A Figura 5 apresenta um diagrama de blocos com as funções contidas no TDA-5210.

O sinal é recebido através de uma antena conectada ao pino três do CI, circuito integrado, do receptor e passa através de um LNA, *Low-Noise Amplifier* ou amplificador de baixo ruído, um *mixer*, um filtro passa-baixas, e por um circuito de demodulação e recuperação do sinal transmitido até ser disponibilizado como sinal digital de dados no pino vinte e cinco.

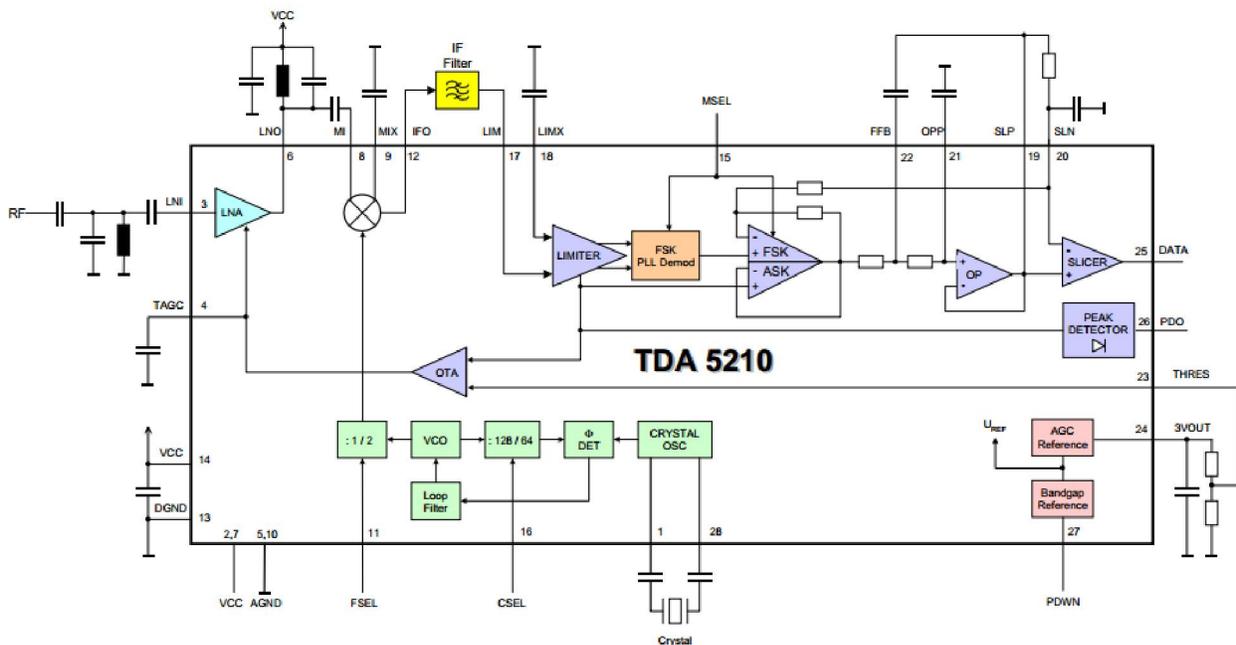
Para que a recepção do sinal fosse realizada com sucesso, diversos componentes tiveram de ser dimensionados e conectados ao CI.

Figura 4 – Receptor Infineon TDA-5210



Fonte: *Website* do fabricante [15]

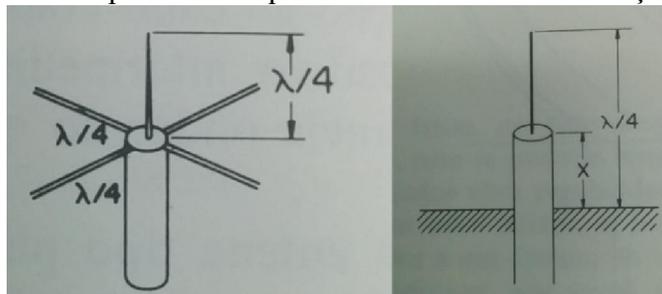
Figura 5 – Diagrama de blocos do receptor TDA-5210



Fonte: *Datasheet* Infineon TDA-5210

O primeiro dimensionamento foi o da antena, neste projeto, uma tipo monopolo de um quarto de onda, como mostra a Figura 6 e as equações a seguir.

Figura 6–Antena de monopolo de um quarto de onda com modificação do plano de terra



Fonte: Livro Engenharia de Antenas [3]

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300}{433,82} = 69,15 \text{ cm} \rightarrow h = \frac{\lambda}{4} = 17,29 \text{ cm}$$

Onde:

- λ Comprimento de onda [cm]
- v Velocidade da luz no vácuo [m/s]
- f Frequência da onda RF desejada [Hz]
- h Um quarto de onda [cm]

$$R_r = 40\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = 40\pi^2 \left(\frac{17,29}{69,15}\right)^2 = 24,667 \Omega$$

Onde:

- R_r Resistência de irradiação [Ω]
- π 3,14 [adimensional]

$$R_r = \frac{R_0}{\cos^2 \beta x} \rightarrow \cos^2 \beta x = \frac{50}{24,667} = 2,027 \rightarrow \cos \beta x = 0,7024 \rightarrow \beta x = 0,7921$$

Onde:

- R_0 Impedância da antena [Ω]
- β $\frac{2\pi}{\lambda}$
- x Altura malha de terra [cm]

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = 0,0908 \text{ 0} \rightarrow x = \frac{0,7921}{0,0908} = 8,72 \text{ cm}$$

Para o cálculo do filtro da antena do receptor, utilizou-se o valor indicado de capacitor pelo fabricante.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow L = \frac{(3,67 \cdot 10^{-10})^2}{C} = \frac{(3,67 \cdot 10^{-10})^2}{8,2 \cdot 10^{-12}} = 16,4 \text{ nF}$$

Onde:

- f Frequência de centro [Hz]
- L Valor do indutor [H]
- C Valor do capacitor [F]

Através da Equação 1, foram feitos os cálculos das dimensões construtivas dos indutores deste projeto.

$$L = \frac{0,2 \cdot a^2 \cdot n^2}{3a+9b+10c} \quad (1)$$

Onde:

- a Diâmetro [mm]

- b Comprimento do indutor [polegadas]
- n Número de enrolamentos
- c Diâmetro do fio [polegadas]

Através da Eq. 1, o indutor do filtro da antena calculado anteriormente ficou com os seguintes valores:

$$a = 3,8mm \quad b = 4,7mm \quad c = 0,5mm \quad n = 3$$

E o indutor do filtro LNA com os seguintes valores:

$$a = 3,8mm \quad b = 4,0mm \quad c = 0,5mm \quad n = 2$$

O passo seguinte é a conversão do sinal da faixa de frequência de 400-440MHz para uma frequência intermediária de valor 10,7MHz, através da passagem por um *Double Balanced Mixer*, aonde o sinal sofre uma convolução com o sinal vindo do *PLL Synthesizer*. Após esta etapa, o sinal passa por um filtro passa-baixas, da fabricante Murata, código SFE10.7MA5-A, com frequência de corte de 20MHz a fim de suprimir as frequências mais altas.

Na sequência, o sinal passa por um limitador, um demodulador e um filtro passa-baixas com largura de banda de 100kHz até chegar a circuito comparador que entrega um sinal de saída digital para os circuitos subsequentes.

2.3.2.2 Micro controlador

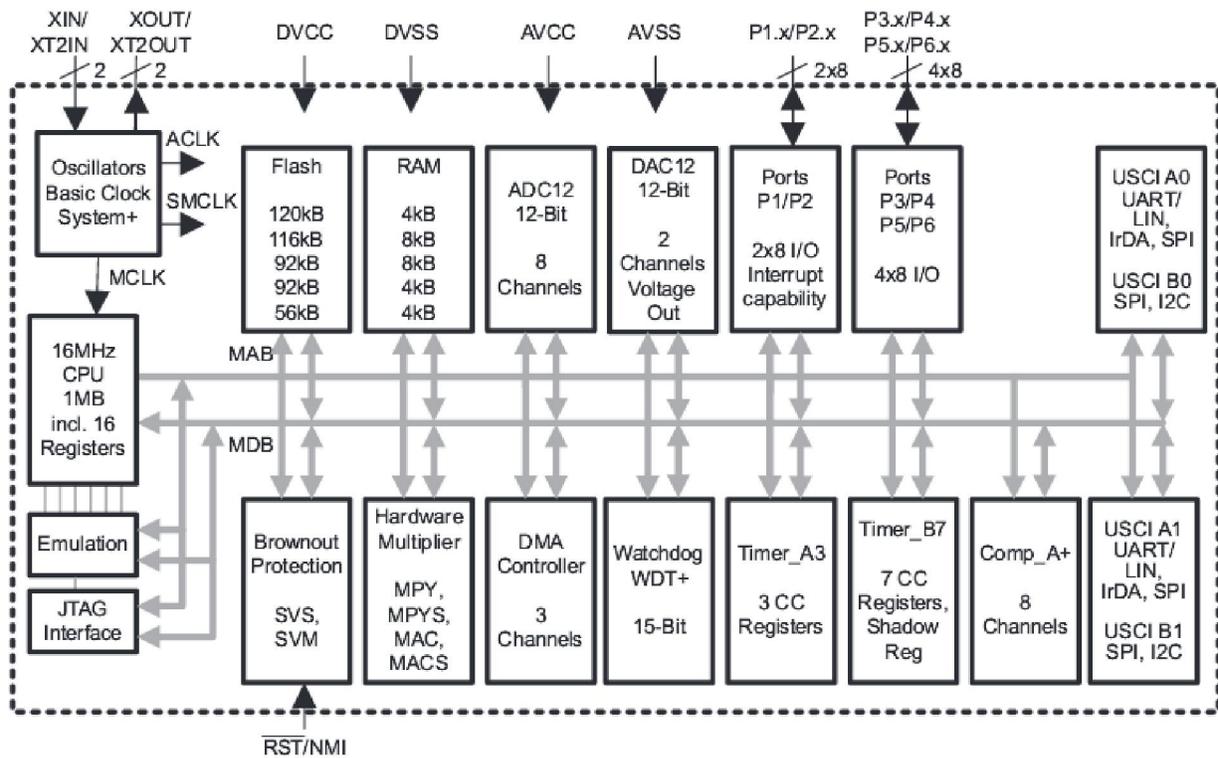
O micro controlador escolhido para este projeto, Figura 7, é um MSP430F2619 da família MSP430, micro controladores de baixo consumo, da Texas Instrument. Este componente implementa uma potente CPU de 16 bits. Sua arquitetura contempla dois *timers* de 16 bits, um conversor A/D de 12 bits, dois conversores D/A de 12 bits, um comparador, quatro módulos USCI e até 64 pinos IO. O diagrama de blocos que apresenta estas funções está representado na Figura 8. Ele é alimentado com uma faixa de tensão entre 1,8V e 3,6V e possui 120KB + 256B de memória Flash e 8KB de RAM.

Figura 7 – Micro controlador Texas Instrument MSP430F261



Fonte: *Website* do fabricante [16]

Figura 8 – Diagrama de bloco das funções do MSP430F261x
Functional Block Diagram, MSP430F261x, 64-Pin PM Package



Fonte: *Datasheet* Texas Instrument MSP430F261x

2.3.2.3 Reguladores de tensão

Visto que a alimentação será feita através de uma interface USB e que sua tensão é de 5V, foram selecionados dois reguladores para fornecerem as tensões necessárias aos outros componentes do circuito, estas nos valores de 3,3V e 7V. O regulador que rebaixa a tensão de 5V para 3,3V é um TLV-2217, da Texas Instrument, e um TPS-61040, da mesma fabricante.

2.3.2.4 Cristais

Dois cristais são necessários neste projeto, o primeiro será utilizado como oscilador externo do micro controlador e o segundo para fazer o ajuste da frequência de recepção do receptor. É necessária a utilização de um cristal com características específicas para que a faixa de frequência do receptor seja ajustada a frequência de transmissão dos sensores de telemetria. A Eq. 2, retirada do *datasheet* do fabricante, apresenta o cálculo da frequência do cristal a ser utilizado.

$$f_{QU} = \frac{f_{RF}(\text{MHz}) - f_{LPF}(\text{MHz})}{r} \quad (2)$$

Onde:

- f_{QU} Frequência do Cristal [MHz]
- f_{RF} Frequência de Recepção [MHz]
- f_{LPF} Frequência do Filtro Passa-Baixas [MHz]
- r Razão da frequência do oscilador interno e da frequência do cristal de quartzo

O *datasheet* apresenta a Tabela 1 para valores de r .

Tabela 1 – Valores da razão r para diferentes configurações de FSEL e CSEL.

FSEL	CSEL	r
Aberto	Aberto	64
Aberto	GND	32
GND	Aberto	128
GND	GND	64

$$f_{QU} = \frac{433.92MHz - 10.7MHz}{32} = 13.225625 MHz \quad (3)$$

O oscilador selecionado para o micro controlador oscila com uma frequência de 16MHz. O segundo cristal selecionado, alimenta o PLL com a frequência exata a calculada na Eq. 3.

2.3.2.5 Modem Leon G100

O Leon G100, Figura 9, é um modem *Quad-band*, da fabricante U-blox, para comunicação de dados e voz em redes GSM e GPRS, ou seja, ele tem capacidade de funcionar nas quatro bandas utilizadas mundialmente que são 850MHz, 900MHz, 1800MHz e 1900MHz. Esta é uma solução completa, de baixo consumo e eficiente que traz todas as funções necessárias para automação em um único e compacto módulo com grande capacidade de integração. Possui duas interfaces GPIO, uma UART, utilizada para comunicação com o micro controlador, e uma I2C.

Figura 9 – Modem U-blox Leon G100



Fonte: *Website* do fabricante [17]

2.3.2.6 Antena Taoglas PA-25

A antena PA-25, Figura 10, da fabricante Taoglas, é uma antena cerâmica, *Penta-band*, de alta eficiência, pequenas dimensões e montagem SMD.

Figura 10 – Antena Taoglas PA-25



Fonte: *Website* do fabricante [18]

2.3.2.7 Demais componentes

Além dos componentes já citados, também foram utilizados diversos outros como resistores, capacitores, indutores, filtro passa baixas, botões, conectores e um display Nokia 6100. Estes componentes foram utilizados como filtros, limitadores de corrente e interfaces com o usuário.

2.3.3 Projeto Eletrônico

Os projetos de hardware, compostos pelo desenvolvimento de um esquemático e um projeto de circuito impresso, cada um, estão descritos nos itens a seguir.

2.3.3.1 Esquemáticos

A fim de se minimizar os riscos ligados a erros de execução durante a construção do protótipo, e a facilitar a depuração dos mesmos, caso acontecessem, este projeto foi dividido em três partes modulares, a primeira um circuito com o micro controlador e as interfaces de utilização, Figura 11, a segunda o módulo receptor, Figura 12, e a terceira o circuito GPRS, Figura 13.

Figura 11 – Esquemático da placado micro controlador

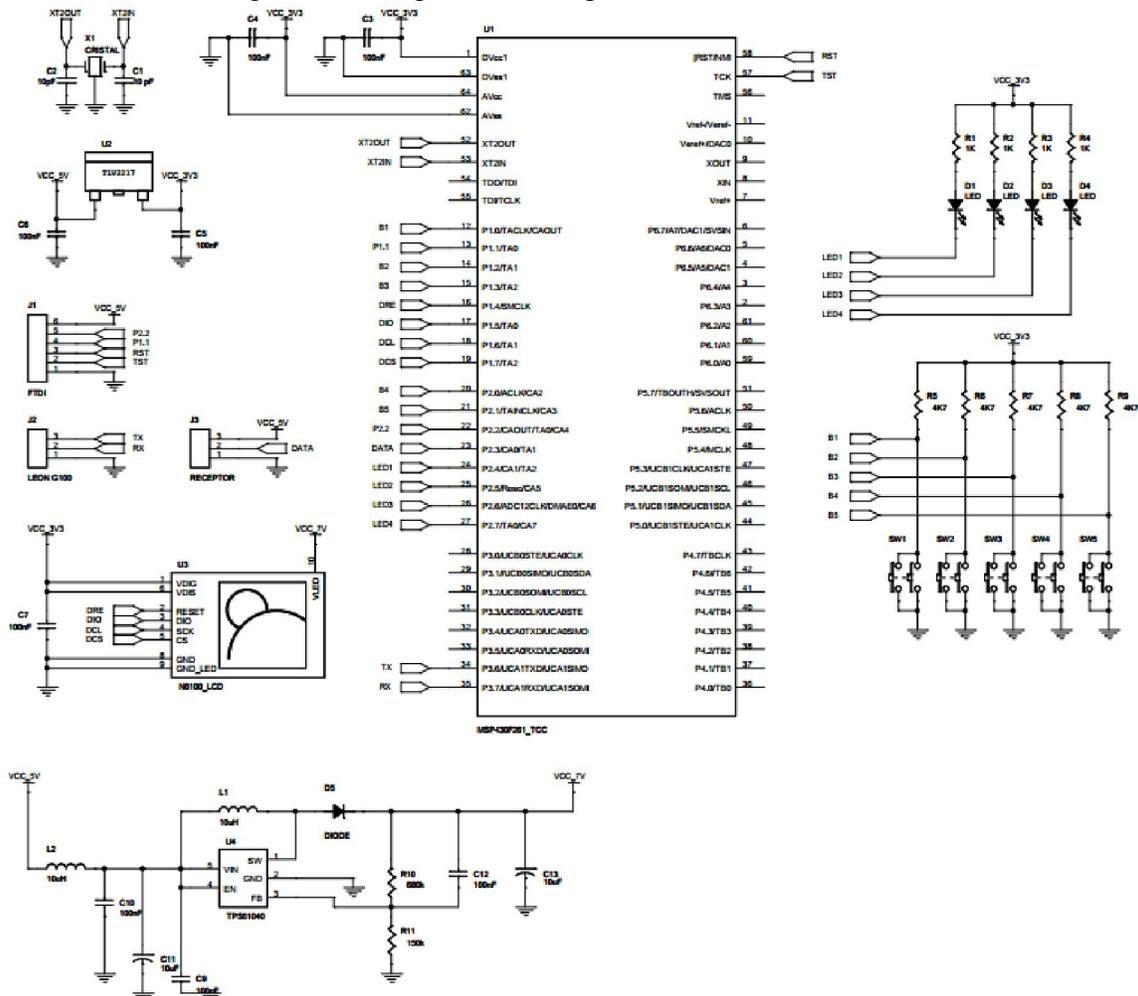
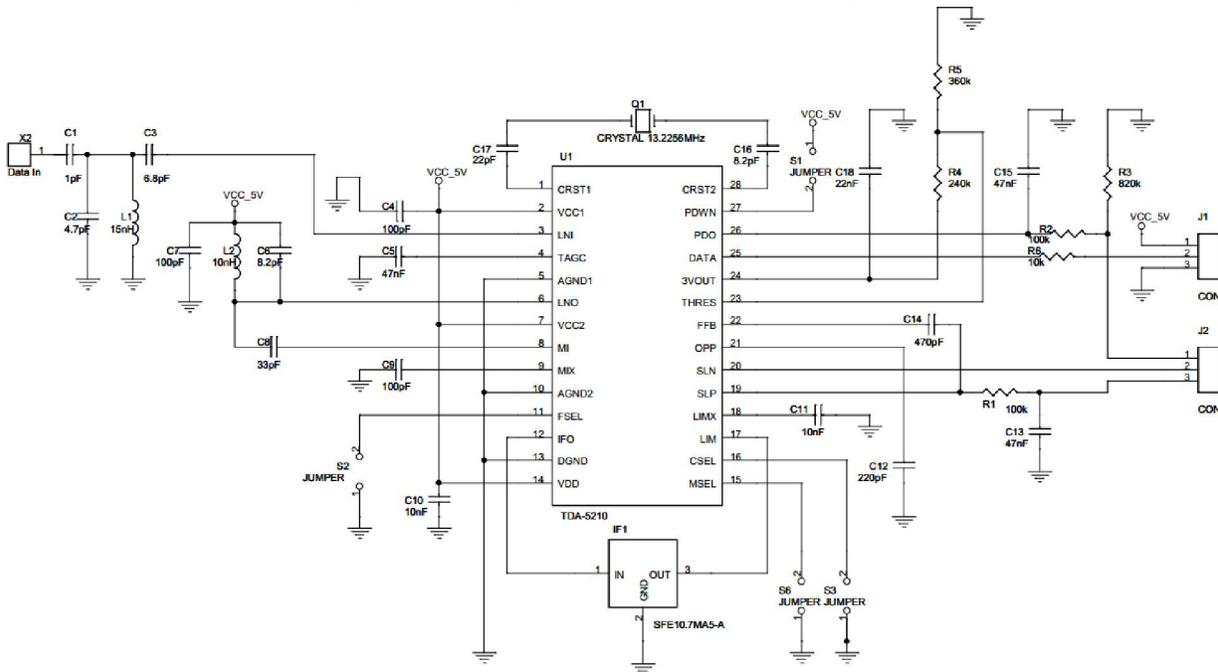
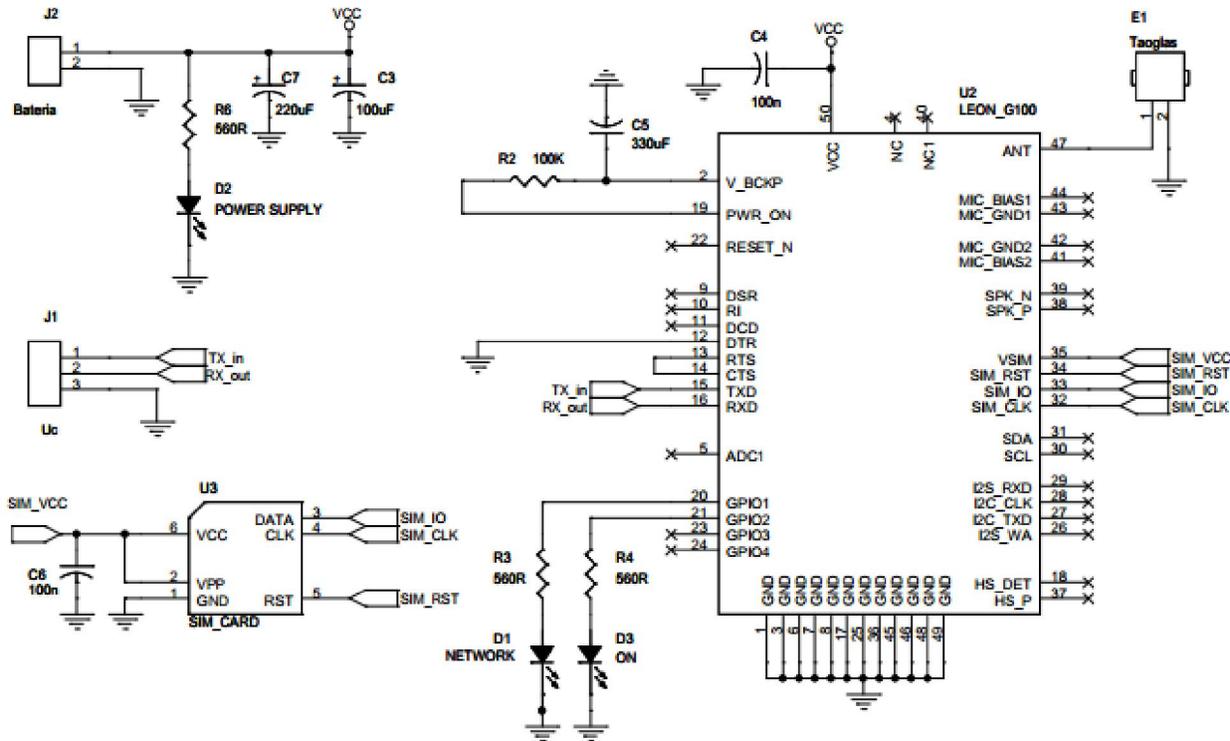


Figura 12 – Esquemático do módulo receptor



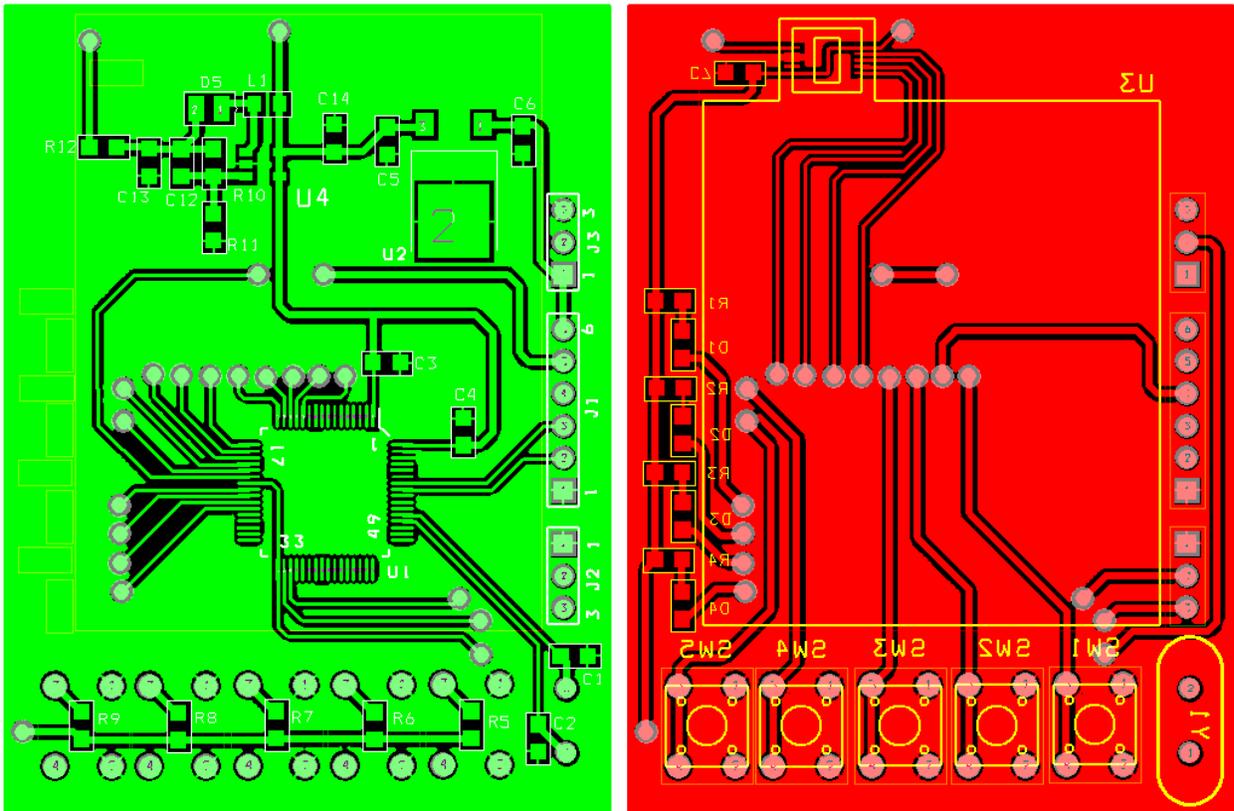
Fonte: Autoria Própria

Figura 13 – Esquemático do módulo GPRS



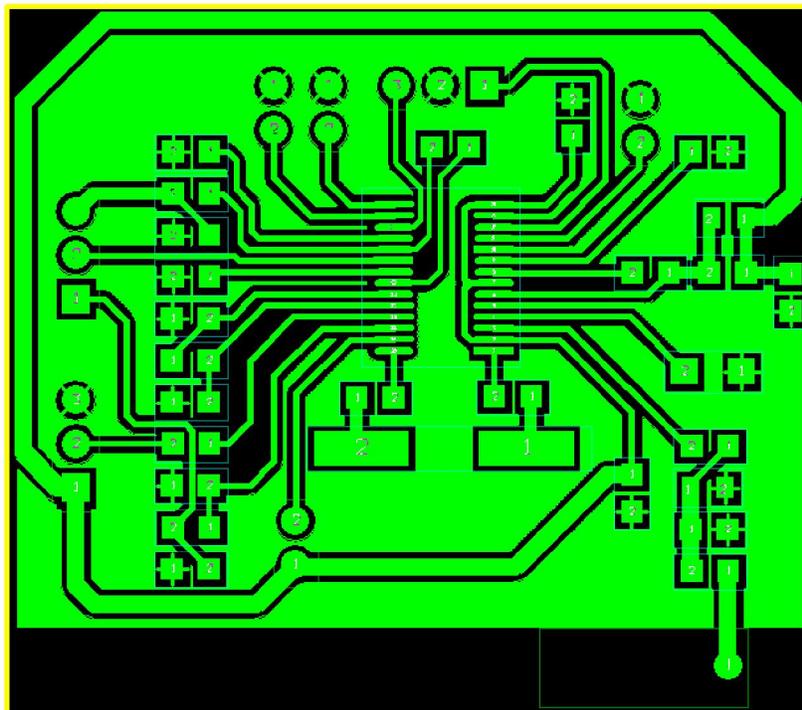
Fonte: Autoria Própria

Figura 15 – *Layout* da placa do micro controlador. (a) *top layer* ; (b) *bottom layer (Dual Layer)*



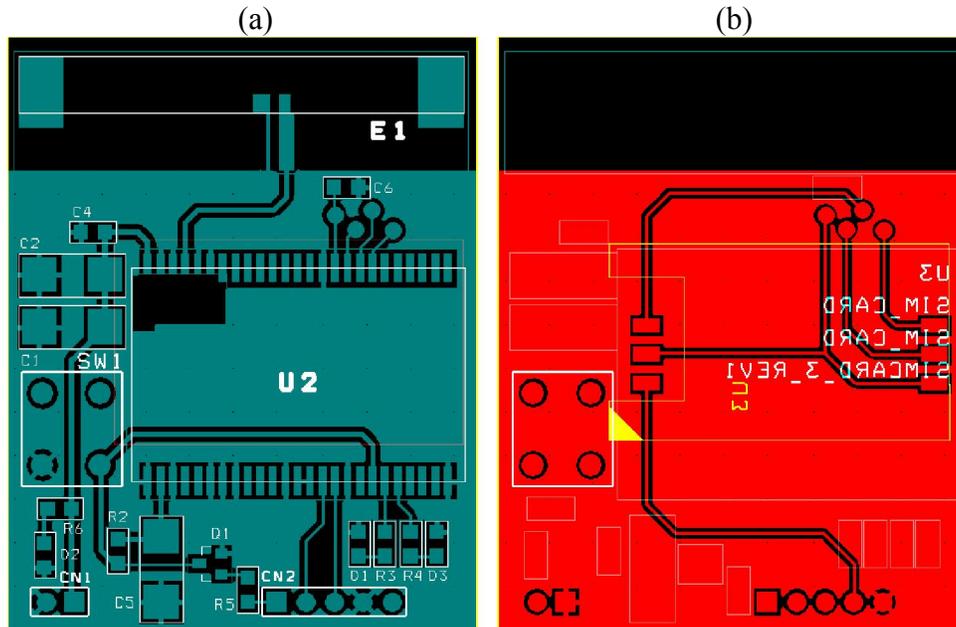
Fonte: Autoria Própria

Figura 16 – *Layout* da placa do módulo receptor



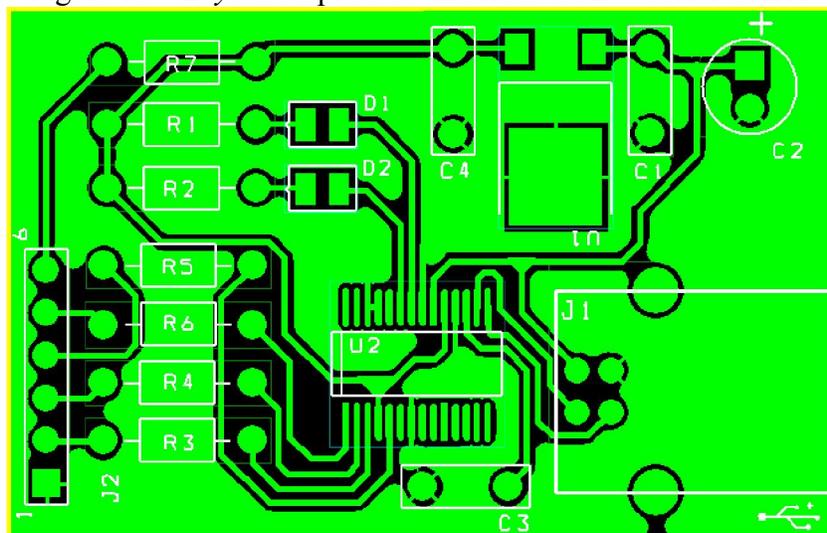
Fonte: Autoria Própria

Figura 17 – *Layout* da placa do módulo GPRS.(a) *top layer* ; (b) *bottom layer (Dual Layer)*



Fonte: Aatoria Própria

Figura 18 – *Layout* da placa de interface USB – Serial UART



Fonte: Aatoria Própria

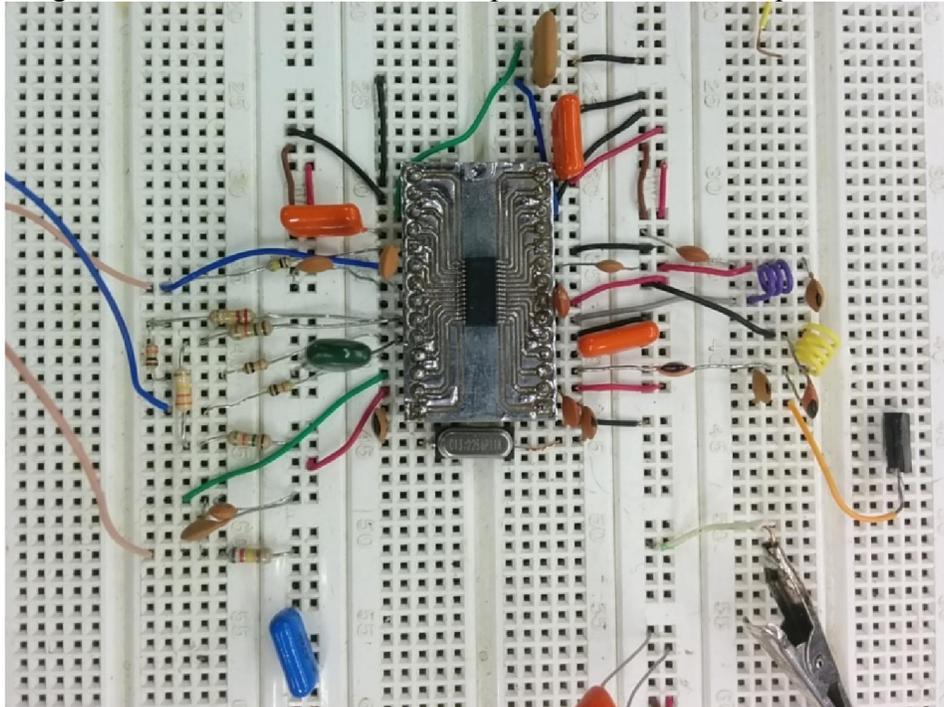
2.3.4 Construção do Protótipo

A construção deste protótipo foi dividida em quatro principais etapas: a primeira a construção e ajuste do módulo receptor, a seguinte a construção do módulo GPRS, a terceira o desenvolvimento de um software capaz de interagir, tanto com os dois circuitos anteriores como com o usuário deste equipamento, assim como a construção do circuito do micro controlador. Por fim, foi desenvolvido um sistema de armazenamento dos dados enviados por SMS para Excel e uma apresentação destes em gráficos interativos e de fácil compreensão.

2.3.4.1 Módulo receptor

O primeiro passo desta execução foi a validação do projeto do módulo receptor em uma *proto-board*, aonde fosse possível a fácil alteração dos componentes complementares a este circuito. Para isto foi criada uma placa auxiliar para adaptação do TDA-5210, componente com montagem SMD, a uma *proto-board*. A montagem deste circuito está na Figura 19.

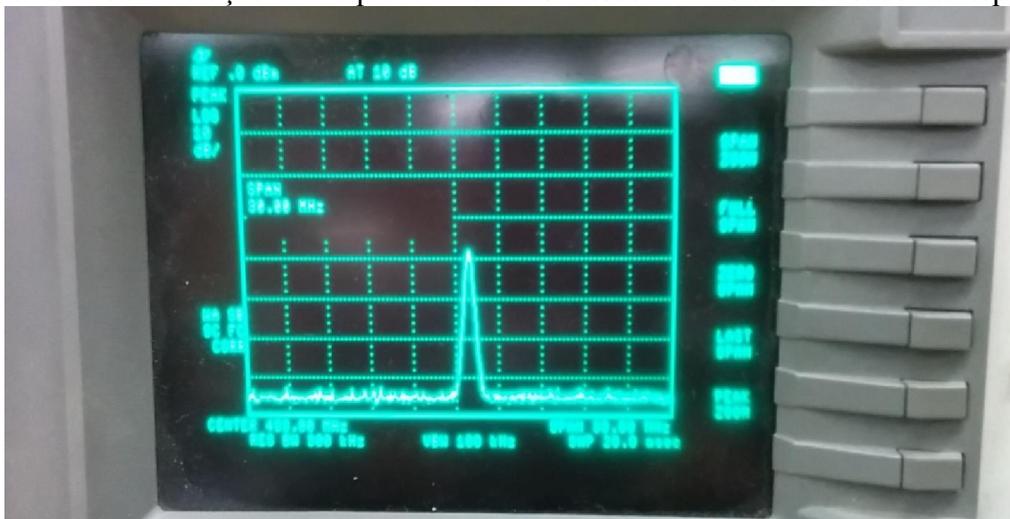
Figura 19 – Circuito do módulo receptor montado em uma *proto-board*



Fonte: Autoria Própria

Assim que montado o circuito, um analisador de espectro foi utilizado para garantir que a transmissão do sensor estava sendo feita na frequência prevista, o que foi validado, porém com um pequeno deslocamento para a frequência de centro de 433,82MHz, como visto na Figura 20.

Figura 20 – Confirmação da frequência de transmissão através do analisador de espectro

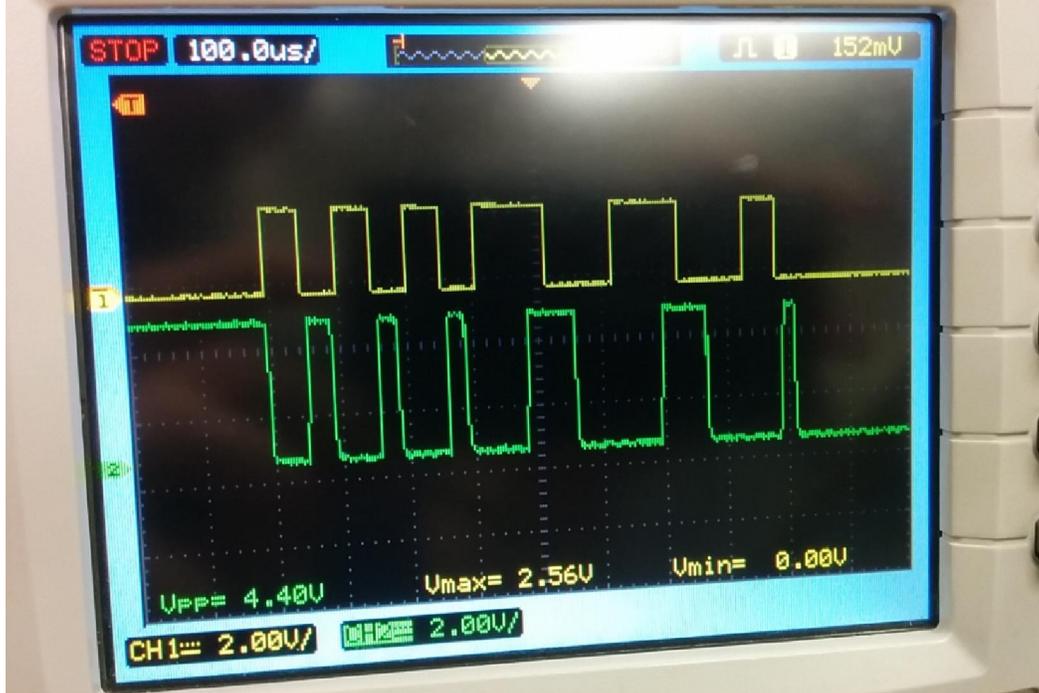


Fonte: Autoria Própria

O equipamento foi ajustado com *Center Frequency* em 433,92MHz e *Span* em 30MHz.

Uma vez garantida a transmissão, um osciloscópio foi conectado à saída de dados digitais do receptor, pino 25, para que a análise da recepção fosse feita. Foi necessário o ajuste fino dos componentes complementares, devido a ruído, para que os dados digitais pudessem ser considerados interpretáveis por um micro controlador sem a perda de informação. A Figura 21 apresenta o conjunto de dados recebidos pelo receptor.

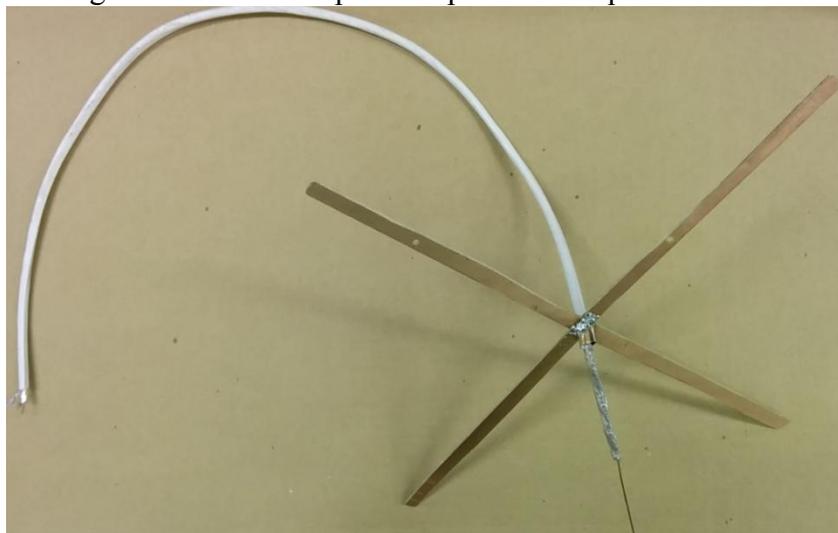
Figura 21 – Comparação dos dados transmitidos com os dados recebidos pelo receptor



Fonte: Autoria Própria

Para obtenção de melhores resultados, a antena calculada anteriormente foi construída e está apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Antena tipo monopolo de um quarto de onda

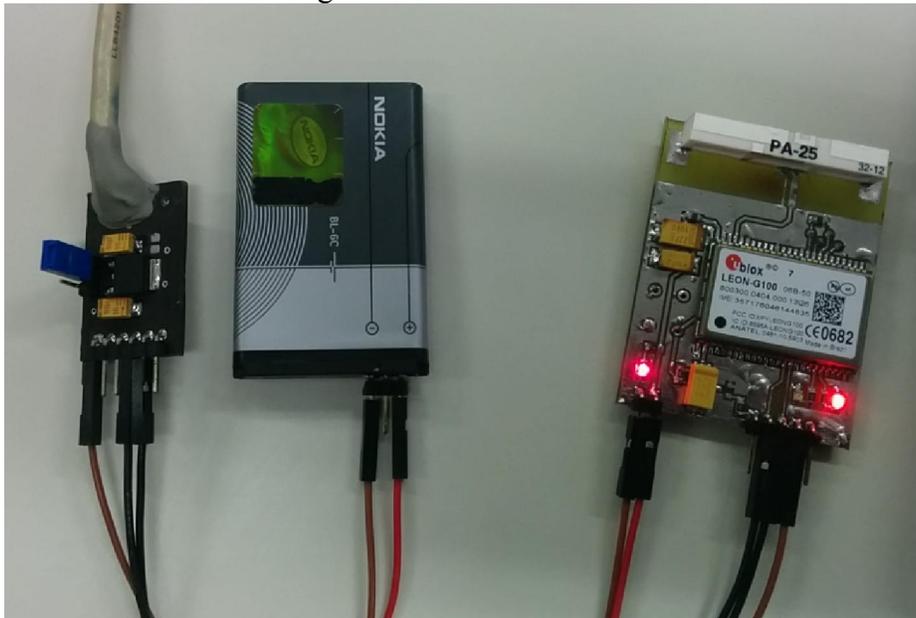


Fonte: Autoria Própria

2.3.4.2 Módulo GPRS

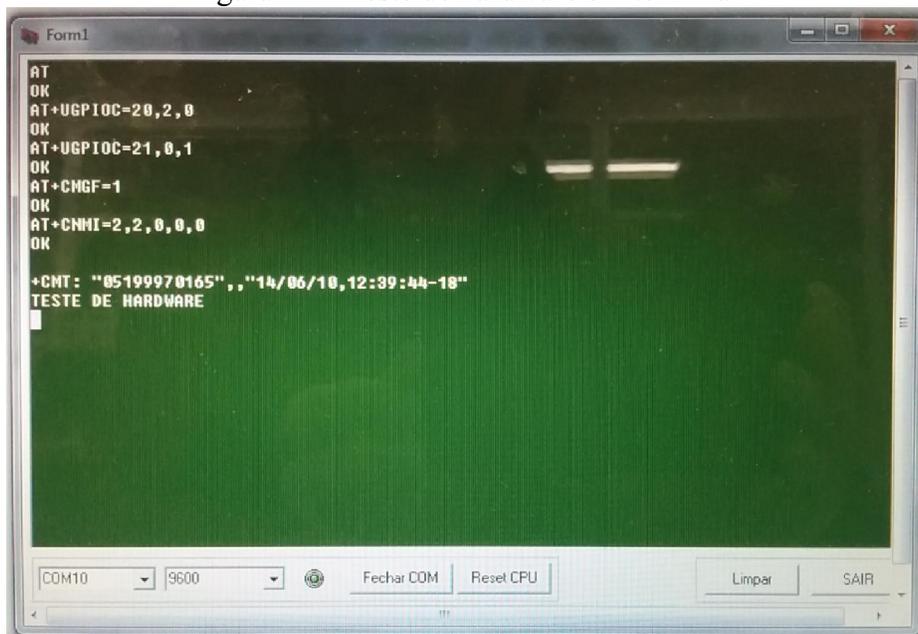
O passo seguinte foi a construção do módulo GPRS. Uma bateria de celular foi adaptada para servir como alimentação para o módulo devido aos altos picos de corrente que, segundo o fabricante, podem chegar a 2,5A. Para testar o hardware, ele foi alimentado e conectado a um terminal através de uma interface USB – Serial UART, como mostra a Figura 23. A Figura 24 demonstra os resultados do teste realizado.

Figura 23 – Módulo GPRS



Fonte: Autoria Própria

Figura 24 – Teste de hardware em terminal



Fonte: Autoria Própria

2.3.4.3 Software

Na sequência, foi desenvolvido o *software* responsável pela interpretação do sinal vindo do receptor e pelo controle do módulo GRPS e das interfaces de usuário. A primeira parte do programa executa a configuração dos registradores do MSP430 e do Leon G100. O módulo GPRS foi configurado para utilizar suas portas *IO* como saída, a fim de sinalizar a alimentação do módulo e o nível de sinal da conexão com a rede GSM.

Após sua configuração, o *software* entra em uma rotina de interação com o usuário, o qual pode navegar através de menus de configuração pessoal do sistema e de monitoração dos dados recebidos, mostrados na Figura 25, até o momento que receba uma mensagem de comando vinda de um telefone cadastrado.

Figura 25 – Telas de interface com o usuário.



Fonte: Autorial Própria

A navegação entre os menus foi classificada como modos de operação que seguem as funções descritas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Modos de operação do software

Modo de Operação	Função
10	Modo normal; sistema fica apto a receber comandos externos.
11	Verificação de alarmes; sistema apresenta condições de cada pneu.
12	Modo detalhado; apresenta condições de P e T individuais de cada pneu.
13	Envio de Relatório; envia relatórios para o número cadastrado
20	Modo configuração;
21	Configuração da pressão mínima
22	Configuração da pressão máxima
23	Configuração da temperatura máxima
30	Recebendo comandos externos

Fonte: Autorial Própria

Cada tela está relacionada a uma função principal de operação e os comandos possíveis de serem executados pelo operador estão sempre apresentados a fim de facilitar sua utilização.

O modo de operação 13 envia um relatório para a central com os dados da última medição e a central, neste sistema representada por um telefone celular, envia os dados para um computador em um arquivo *.csv*, através do aplicativo *SMS Backup & Restore*, aonde são armazenados para consultas futuras.

Por fim, o programa possui uma rotina para recebimento de comandos através de SMS, para que a central possa interagir com o operador em situações atípicas.

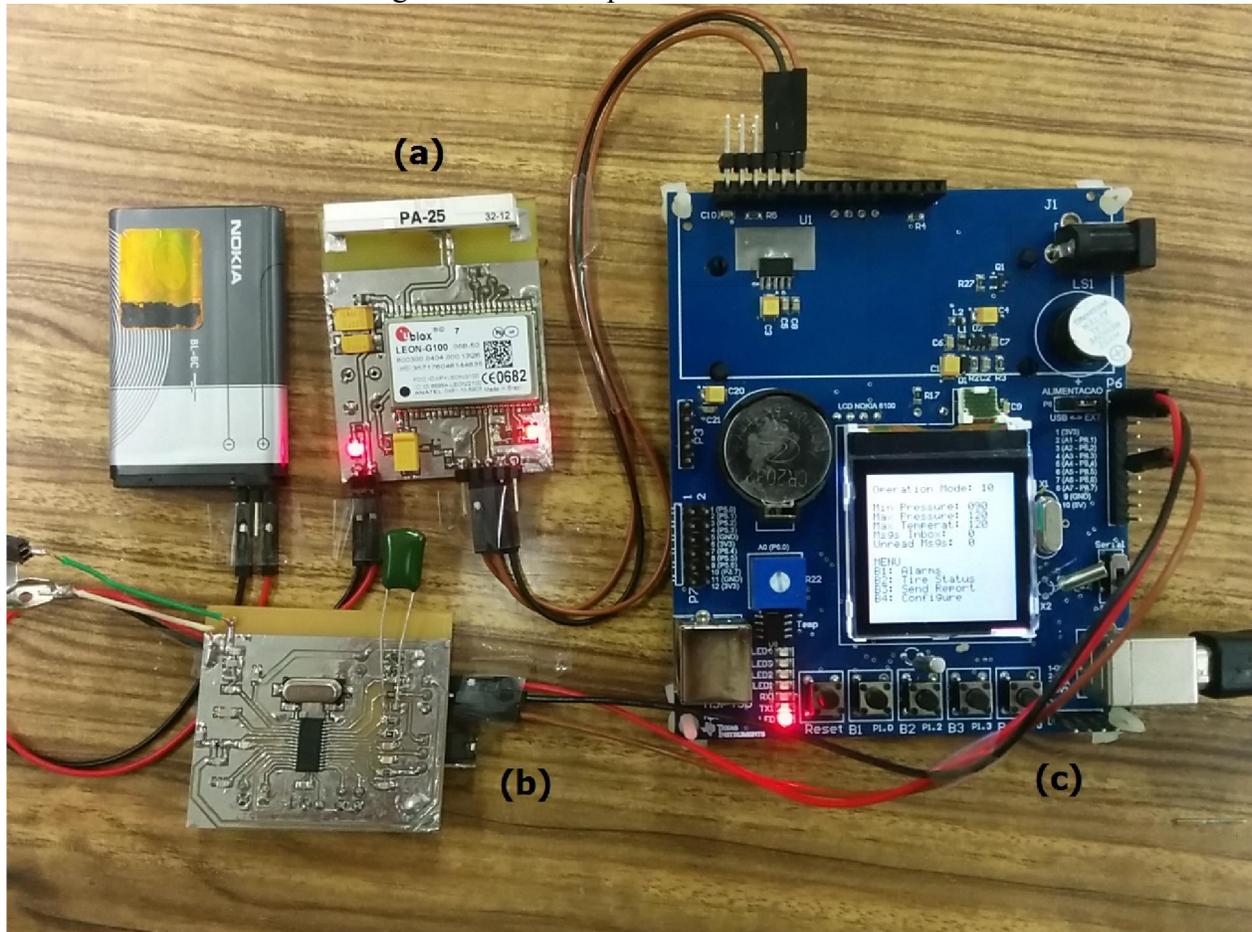
3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A compilação dos resultados obtidos neste projeto está apresentada neste capítulo nos três itens subsequentes.

3.1 Protótipo construído

Após a construção individual de todas as partes deste projeto, elas foram colocadas juntas para que o protótipo fosse testado. A Figura 26 mostra o protótipo completo e a Figura 27 apresenta-o em funcionamento, recebendo dados de um sensor.

Figura 26 – Protótipo em funcionamento



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 26, representado pela letra (a) está o módulo GSM, a letra (b) o circuito do receptor e a letra (c), a placa de desenvolvimento do MSP430, utilizada neste momento como circuito do micro controlador e das interfaces.

3.3 Custos estimados

Os custos estimados para a construção de um protótipo semelhante ao desenvolvido neste projeto estão descritos na Tabela 3. Os valores em Dólar Americano foram convertidos para Real com a cotação da data de compra dos componentes e não foram considerados impostos nem taxas de transporte internacional.

Tabela 3 – Custos para a construção de um protótipo semelhante

Descrição	Preço Unitário	Qtd	Custo Total(R\$)
Receptor TDA5210	\$ 2,82	1	R\$ 7,13
Micro controlador MSP430	\$ 4,06	1	R\$ 10,27
Reguladores de Tensão	\$ 4,82	3	R\$ 12,19
Antena <i>Penta-band</i> GSM	R\$ 23,10	1	R\$ 23,10
Modem Leon G100	R\$ 89,00	1	R\$ 89,00
Demais Componentes	\$ 32,68	57	R\$ 82,68
			R\$ 224,37

Fonte: Autoria Própria

4. CONCLUSÃO

Primeiramente, o módulo receptor agiu como o esperado, conseguindo receber os sinais vindos dos sensores de maneira adequada. A seleção de um componente robusto destinado à área automotiva foi um dos fatores que auxiliaram na efetividade da comunicação. Entretanto, foi o correto dimensionamento e ajuste dos componentes complementares do circuito receptor que determinaram o sucesso da recepção.

Complementarmente, o conceito de funcionalidade de um sistema de telemetria foi aprovado e demonstrou que o tratamento dos dados coletados e a apresentação destes a um usuário não técnico através de uma interface amigável, possivelmente, transpõe a barreira imposta à tecnologia em uma indústria tradicional aonde a coleta de dados de forma manual é ainda muito utilizada. Ainda mais, a entrega de dados de pressão e temperatura em tempo real eleva a segurança de operação, evitando acidentes ocorridos pelo mau uso dos sistemas.

Finalmente, o armazenamento dos dados de pressão em um banco de dados aonde é possível acompanhar o histórico de utilização do sistema possibilita que os usuários entendam a relação de duração e utilização dos equipamentos.

Uma vez que o protótipo atingiu os objetivos propostos e que o conceito foi aprovado, é possível partir para um próximo projeto de controle de pressão por malha fechada.

Agradecimentos

Dedico este trabalho àqueles que me fizeram compreender que a vida consiste muito mais do que apenas sonhar, meus pais e familiares amados. Agradeço a Deus por ter me dado foco, ao meu orientador Prof. Júlio César e aos colegas e amigos pela compreensão e parceria durante os dias úteis, feriados e finais de semana que passamos dentro deste laboratório desenvolvendo nossos trabalhos, em especial ao meu amigo Felipe Melz, com quem eu compartilhei este desafio.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The Minnesota State University website. [Online]. Disponível em: http://mavdisk.mnsu.edu/alleng/communications/DataRadio/p_telemetry.pdf. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2014.
- [2] D. PATRANABIS, “*Telemetry Principles*”, Ed. Tata McGraw-Hill, 1999.
- [3] LUIZ G. R. RIOS, “*Engenharia de Antenas*”, 1982.
- [4] United States Army Signal Center and Fort Gordon, “*Principles of Radio Wave Propagation*”, Fort Gordon, Georgia, Sub-course Number SS0130, Ed. B, 2005.
- [5] RODOLFO P. PIROTTI e MARCOS ZUCCOLOTTO, “*Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes GSM e GPRS*”, Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 10, n. 13, p. 81-89, jan./jun. 2009.
- [6] Website Bit a Bit, Disponível em: <https://www.bitabit.eng.br/>. Acesso em: Abril de 2014.
- [7] K. V. PRASAD, “*Principles of Digital Communication Systems and Computer Networks*”, 2nd Edition, 2008
- [8] ABRAHAM MASLOW, “*A Theory of Human Motivation*”, Psychological Review, 1943.
- [9] TDA 5210 data sheet, Infineon, “*Wireless Components – ASK/FSK Single Conversion Receiver*”, Versão 3.0, 2001
- [10] MSP430F261 data sheet, Texas Instrument, 2012
- [11] LEON G100 data sheet, U-blox, 2012
- [12] SFE10.7MA5-A data sheet, Murata
- [13] RS232RL data sheet, FTDI, 2009
- [14] Aula de Telecomunicações e Modulações. Disponível em: http://3.bp.blogspot.com/_BEp6irHE4/UTyVk9C8aoI/AAAAAAAAAYM/3IrotPaJJyY/s1600/Sem+t%C3%ADtulo.png
Acesso em: 13 de Maio de 2014.
- [15] TDA5210. Disponível em: <http://www.infineon.com/>. Acesso em: 20 de Junho de 2014.
- [16] MSP430F2619. Disponível em: <http://www.ti.com/product/MSP430F2619/technicaldocuments>. Acesso em: 20 de Junho de 2014.
- [17] Leon G100. Disponível em: <http://www.u-blox.com/en/wireless-modules/gsm-gprs-modules/leon-gsm-module-family.html> Acesso em: 20 de Junho de 2014.
- [18] Antena Taoglas PA-25. Disponível em: <http://www.taoglas.com/case-studies/pa25>. Acesso em: 20 de Junho de 2014.