

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

JEFFERSON GUND

**Desenvolvimento de um Instrumento Musical Didático Baseado no Protocolo
MIDI**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO

2015

JEFFERSON GUND

**DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO MUSICAL DIDÁTICO BASEADO NO
PROTOCOLO MIDI**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Eletrônica da Coordenação de Engenharia Eletrônica - COELE - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Toledo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Y. Nakano

TOLEDO

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 022

Desenvolvimento de um Instrumento Musical Didático Baseado no Protocolo MIDI

por

Jefferson Gund

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10:20 h do dia **19 de novembro de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Andrés Eduardo Coca Salazar
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Felipe Walter Dafico Pfrimer
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Alberto Yoshihiro Nakano
(UTFPR-TD)
Orientador

Visto da Coordenação

Prof. M. Alessandro Paulo de Oliveira
Coordenador da COELE

Dedico este trabalho aos meus pais, Noedi e Ilse Gund, sem os quais este projeto jamais teria sido concretizado. Também dedico este trabalho aos meus irmãos, Joni e Jairo; cunhadas, Daniela e Janiara e a meus sobrinhos: Davi e Gustavo.

“Se você pensa que pode ou se pensa que não pode, de qualquer forma você está certo.”

Henry Ford

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir este trabalho.

Agradeço aos meus pais, Noedi e Ilse, que apoiaram arduamente a minha caminhada e aos meus familiares pela ajuda e compreensão nos momentos difíceis desta jornada.

Agradeço em especial ao amigo André Locatelli pelo seu engajamento em momentos importantes da minha trajetória acadêmica.

Registro aqui também os meus sinceros agradecimentos ao professor, Dr. Alberto Yoshihiro Nakano, pela orientação neste projeto e também a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

GUND, Jefferson. **Desenvolvimento de um Instrumento Musical Didático Baseado no Protocolo MIDI**. 2015. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (Bacharelado em Engenharia Eletrônica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2015.

Há diversos estudos que comprovam os benefícios da música para o desenvolvimento humano no âmbito emocional e social, bem como o seu importante papel como terapia alternativa às doenças psicossomáticas. Este trabalho apresenta a proposta da pesquisa e desenvolvimento de um instrumento MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) didático focado em instrumentos musicais percussivos. Pretende-se implementar um controlador MIDI com conexão sem fio com um computador, que será responsável por sintetizar os sons do instrumento. Inspirado no brinquedo conhecido como “Simon” também conhecido como “Genius”, será desenvolvido um decodificador de arquivos MIDI no instrumento. De acordo com as notas lidas de um arquivo MIDI previamente gravado no instrumento, LEDs instalados nos pads (conjunto de tambores e pratos, juntamente com sensores) irão acender mostrando como tocar determinado ritmo ou exercício com a bateria.

Palavras-chave: Instrumento MIDI, Música, Bateria Eletrônica.

ABSTRACT

GUND, Jefferson. **Development of a Didactic Musical Instrument Based on MIDI Protocol.** 2015. 69f. Final project (Bachelor's degree in Electronic Engineering), Federal University of Technology - Paraná, Toledo, 2015.

There are several studies showing the benefits of music for human development in the emotional and social aspects, as well as its important role as an alternative therapy to psychosomatic illnesses. This work presents the research and development of a didactic MIDI (Musical Instrument Digital Interface) instrument focused in percussion instruments. A wireless MIDI controller instrument will be implemented which will be also responsible for the communication with a computer where the sounds will be synthesized. Inspired in the toy Simon, a MIDI file decoder will be also developed. Depending on the notes read from a MIDI file, LEDs installed in each pad (set of drums and cymbals with sensors) will light up, showing how to play a rhythm or exercise on the drums. It is expected that with this project, a student would be instigated to study music and through it develop his psycho motor skills.

Keywords: MIDI Instrument, Music, Electronic Drums.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Diagrama de funcionamento do sistema.	3
Figura 2:	Instrumentos que compõe uma bateria.	7
Figura 3:	Notas de uma bateria em uma partitura.	8
Figura 4:	Principais elementos musicais encontrados em uma partitura de bateria.	8
Figura 5:	Curva característica de um envelope sonoro.	11
Figura 6:	Teclado Sintetizador MIDI (HUBER, 2007).	13
Figura 7:	Guitarra MIDI (HUBER, 2007).	14
Figura 8:	Flauta MIDI (HUBER, 2007).	14
Figura 9:	Bateria MIDI (HUBER, 2007).	14
Figura 10:	Esquema do arquivo MIDI (MACHADO, 2012).	15
Figura 11:	Estrutura de cabeçalho e de <i>track</i> de um arquivo MIDI (MACHADO, 2012).	16
Figura 12:	Conversão de um PPQ em um <i>Delta-time</i> (MACHADO, 2012). . .	16
Figura 13:	Exemplo de conversão de um PPQ em um <i>Delta-time</i>	17
Figura 14:	Sensor Piezoelétrico.	20
Figura 15:	Ilustração do instrumento comunicando-se com um computador através de canal sem-fio. a) Pad do tambor. b) Pad do Prato. c) Módulo MIDI que se comunica via sem-fio com o computador. d) Rack para montagem das peças da bateria. e) Receptor sem fio instalado no computador envia as instruções recebidas da antena para o computador. f) O computador sintetiza os sons do instrumento.	22
Figura 16:	Visão lateral do pad dos tambores.	23
Figura 17:	Vista superior e inferior de um pad dos tambores.	24

Figura 18:	Vista superior e inferior de um pad de pratos.	25
Figura 19:	Vista frontal do pad do bumbo.	26
Figura 20:	Microcontrolador PIC 18F4550 (MICROCHIP, 2009).	27
Figura 21:	Esquema conexão dos pinos do microcontrolador.	28
Figura 22:	Multiplexador de entradas analógicas (TI, 2004).	28
Figura 23:	Conexão dos pinos do multiplexador com o microcontrolador.	29
Figura 24:	Display LCD 16x2.	29
Figura 25:	Conexão dos pinos do display LCD com o microcontrolador.	30
Figura 26:	Módulo de comunicação sem fio NRF24L01 (NORDIC, 2008).	30
Figura 27:	Conexão dos pinos do módulo sem fio com o microcontrolador.	31
Figura 28:	Módulo para cartão micro SD.	32
Figura 29:	Conexão dos pinos do módulo do cartão SD com o microcontrolador.	32
Figura 30:	Circuito do Módulo MIDI.	33
Figura 31:	Esquema de ligação dos botões de navegação do sistema.	34
Figura 32:	Vista frontal do módulo MIDI.	35
Figura 33:	Detalhes dos conectores RJ45.	35
Figura 34:	Esquema de ligação do módulo sem fio com o microcontrolador.	36
Figura 35:	Microcontrolador PIC16F877a (MICROCHIP, 2009).	37
Figura 36:	Esquema de ligação do microcontrolador do módulo receptor.	38
Figura 37:	Conversor serial-USB PL2303.	38
Figura 38:	Esquema de ligação do conversor serial-USB do módulo receptor.	39
Figura 39:	Receptor <i>wireless</i>	39
Figura 40:	Instalação dos sensores no prato.	40
Figura 41:	Instalação dos sensores no pad do prato.	41
Figura 42:	Circuito do pad do prato.	41
Figura 43:	Circuito do pad dos tambores.	42
Figura 44:	Diagrama de ligação dos sensores piezoelétricos.	42

Figura 45:	Diagrama de ligação dos LEDs.	43
Figura 46:	Detalhe do sistema do pad dos tambores.	43
Figura 47:	Protótipo da bateria eletrônica com pads e módulo MIDI prontos.	45
Figura 48:	Detalhes dos menus de navegação.	47
Figura 49:	Diagrama de funcionamento dos menus de navegação.	48
Figura 50:	Fluxograma do Decodificador MIDI no instrumento.	49
Figura 51:	Diagrama de blocos do sistema do Módulo MIDI.	50
Figura 52:	Diagrama de blocos do sistema do receptor sem fio.	50
Figura 53:	Fluxograma do sistema do Módulo MIDI como controlador MIDI.	51
Figura 54:	Tela do <i>software</i> de sintetização desenvolvido em MatLab. . . .	52
Figura 55:	Fluxograma do algoritmo de sintetização desenvolvido em MatLab.	53
Figura 56:	Diagrama de ligação dos sensores piezoelétricos.	55
Figura 57:	Sinal puro do sensor piezoelétrico.	55
Figura 58:	Sinal do sensor na saída do circuito para o multiplexador.	56
Figura 59:	Sinal do sensor na saída do multiplexador para o microcontrolador.	56
Figura 60:	Ilustração do valor de <i>threshold</i> de um sinal.	56
Figura 61:	Partitura de um ritmo na bateria.	58
Figura 62:	Arquivo MIDI utilizado para testar a máquina MIDI.	58
Figura 63:	Ilustração do acendimento dos LEDs.	59
Figura 64:	Esquemático Módulo MIDI, parte 1	64
Figura 65:	Esquemático módulo MIDI, parte 2.	65
Figura 66:	Circuito do receptor <i>wireless</i>	66
Figura 67:	Foto dos pads com os LEDs acesos.	67
Figura 68:	Detalhes do pad do bumbo.	68
Figura 69:	Detalhes dos suportes dos pratos.	68
Figura 70:	Detalhes dos suportes dos tambores.	69

LISTA DE TABELAS

1	Símbolos, nomes e duração relativa das figuras musicais (COSTA, 2006).	9
2	Relação dos valores de PPQ adotados.	18
3	Relação dos códigos das notas musicais no padrão MIDI.	18

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Conversor Analógico-Digital
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DIP	<i>Dual-in-Line Pachage</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EVA	<i>Ethil Vinil Acetat</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
PPQ	<i>Pulse Per Quarter Note</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SMD	<i>Surface Mount Tecnology</i>
SMF	<i>Standard MIDI File</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
3	JUSTIFICATIVA	4
4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
4.1	EDUCAÇÃO MUSICAL	5
4.2	NOÇÕES FUNDAMENTAIS DE TEORIA MUSICAL	6
4.2.1	Notação de Bateria	6
4.2.2	Fórmula de Compasso	8
4.2.3	Figuras Musicais	9
4.3	SINTETIZADORES	10
4.4	PROTOCOLO MIDI	12
4.5	CONTROLADORES MIDI	13
4.6	ESTRUTURA DE UMA MÁQUINA MIDI	15
4.7	MICROCONTROLADORES	19
4.8	SENSORES	19
5	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	21
5.1	ESTRUTURA DO PROJETO	21
5.2	ESTRUTURA FÍSICA	22
5.2.1	Pad dos Tambores	22
5.2.2	Pad dos Pratos	24
5.2.3	Pad do Bumbo	25
5.3	MÓDULO MIDI	26
5.3.1	Microcontrolador PIC18F4550	27
5.3.2	Multiplexador de Entradas Analógicas CD54HC4051	28

5.3.3	Display LCD	29
5.3.4	Módulo <i>Wireless</i> NRF24L01	29
5.3.5	Módulo Para Cartão de Memória Externo	31
5.3.6	Circuito do Módulo MIDI	33
5.3.7	Acomodação do Módulo MIDI	34
5.4	RECEPTOR <i>WIRELESS</i>	36
5.4.1	Módulo <i>Wireless</i> NRF24L01	36
5.4.2	Microcontrolador PIC16F877a	36
5.4.3	Conversor Serial-USB PL2303	38
5.5	SHIELDS DOS PADS	40
6	FUNCIONAMENTO DO INSTRUMENTO	44
6.1	O MÓDULO MIDI	44
6.2	O <i>SOFTWARE</i> SINTETIZADOR	52
7	RESULTADOS	54
7.1	ANÁLISE DA RESPOSTA DOS SENSORES	54
7.2	ANÁLISE DA MÁQUINA MIDI	57
7.3	ANÁLISE DO CONTROLADOR MIDI	59
7.4	ANÁLISE DO <i>SOFTWARE</i> SINTETIZADOR	59
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS	62
	ANEXO A - ESQUEMÁTICO DO MÓDULO E DO RECEPTOR	64
	ANEXO B - FOTOS	67

1 INTRODUÇÃO

O estudo dos benefícios do aprendizado da música para o ser humano tem sido objeto de pesquisas por muitos anos. Estudos apontam que o aprendizado de música contribui para o desenvolvimento dos aspectos cognitivos, emocionais e sociais, promovendo o bem estar do indivíduo. A música também contribui para a melhoria do convívio social, ajudando na superação de problemas como violência e uso de drogas. Ainda, tratando a música no contexto do processo de ensino-aprendizagem escolar, esta pode ser uma forte aliada para agregar conhecimento histórico-cultural, uma vez que o professor pode utilizá-la como instrumento didático-pedagógico, favorecendo o desenvolvimento cognitivo e comportamental de crianças (RODRIGUEZ; ROSIN, 2011).

Também na área da saúde há uma prática denominada Musicoterapia, que faz uso da música como tratamento alternativo para distúrbios psicossomáticos, que além de contribuir na humanização dos cuidados em saúde, constitui-se em uma forma inovadora para alívio da dor. Vale destacar também o uso da música no tratamento de doenças neurológicas como Alzheimer, Parkinson, dentre outras. Adicionalmente, há estudos que indicam que ouvir música afeta a liberação de substâncias químicas cerebrais importantes que estão diretamente relacionadas no mecanismo de regulação do humor, reduzindo a agressividade e a depressão além de melhorar o sono (FONSECA *et al.*, 2006).

No contexto do ensino da música, o ensino dos fundamentos da teoria musical é de suma importância para a compreensão da escrita e estruturas da harmonia musical, seja qual for o instrumento que deseja-se estudar.

Há diversos modelos de notações musicais utilizadas por instrumentos. Uma forma comum a todos os instrumentos é a partitura, onde cada instrumento pode apresentar particularidades inerentes na notação. Outra maneira de notação musical é a tablatura, utilizada comumente para instrumentos de cordas como o violão, guitarra ou contrabaixo, por exemplo. Outra forma ainda é a cifrada, onde faz-se o uso das 7 primeiras letras do alfabeto que representam o som ou o acorde que deve ser utilizado

para indicar principalmente o campo harmônico a ser executado. Entretanto, a forma mais completa de representação musical é a partitura, pois esta apresenta todas as informações necessárias para a interpretação e execução da música por um instrumentista. A tablatura perde eficiência no que concerne à representação de duração de cada nota, assim como a forma cifrada. Por ser mais completa, a partitura apresenta em desvantagem, uma curva de aprendizado consideravelmente maior. Dadas estas características, pode ser árduo ao estudante em estágio inicial de aprendizado, ler a partitura e executar o instrumento. Ainda, por outros motivos, como a dificuldade de aquisição de instrumentos musicais devido ao custos elevados, o aprendizado de instrumentos musicais acaba sendo desestimulante para muitos estudantes.

Durante as últimas décadas, com a invenção do computador pessoal e a evolução dos sistemas eletrônicos embarcados, surgiram diversas tecnologias para auxiliar no desenvolvimento do aprendizado musical. Entre eles, *softwares* para computadores e até mesmo, instrumentos musicais digitais, que possibilitaram expandir as fronteiras do aprendizado e também a área da produção musical. Entretanto, há ainda diversas possibilidades para o desenvolvimento de novas tecnologias musicais, principalmente, pensando-se em tornar mais acessíveis as tecnologias já existentes, tais como Instrumentos MIDI. Dados estes fatos, seria de grande valia criar novas ferramentas de aprendizado, agregando mais recursos aos dispositivos já existentes.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um instrumento musical eletrônico mais estritamente voltado a instrumentos percussivos como a bateria, que auxilie no estudo de música. A Figura 1 apresenta o sistema a ser desenvolvido. Espera-se com este trabalho contribuir no processo de aprendizagem da bateria musical com o desenvolvimento de uma ferramenta didática de aprendizagem, além de desenvolver um sistema de baixo custo com relação á implementação do *hardware*.

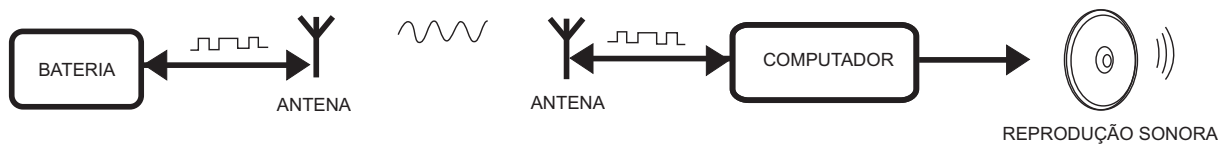


Figura 1: Diagrama de funcionamento do sistema.

3 JUSTIFICATIVA

Dadas as características do contexto do ensino de música apresentado, a introdução de uma nova tecnologia no ensino de musica poderia contribuir significativamente no processo de formação de um instrumentista.

Apesar de existir no mercado uma vasta diversidade de Instrumentos baseados em controladores MIDI, o ensino de música ainda carece de tecnologias que possam auxiliar na didática. Assim sendo, o desenvolvimento de um sistema eletrônico com sensores e indicadores visuais, seria interessante para instigar e motivar os estudantes a desenvolverem habilidades psicomotoras e sua percepção musical, uma vez que o aluno poderá ser auxiliado não apenas por um professor, mas através de um dispositivo eletrônico didático, repetindo a execução dos exercícios e músicas gravadas no instrumento, até que as técnicas do instrumento sejam dominadas satisfatoriamente. Como recurso didático, o uso dos LEDs indicadores funcionará de maneira análoga ao brinquedo da década de 70 conhecido como “Simon” ou também “Genius” aqui no Brasil, onde uma sequência pré estabelecida de peças do brinquedo era acesa e então a pessoa deveria executar a mesma sequência de passos criada pelo dispositivo. Este brinquedo foi criado por Ralph H. Baer e Howard J. Morrison e visava estimular o desenvolvimento de habilidades psicomotoras em crianças e a intenção é utilizar o mesmo conceito no desenvolvimento do protótipo de instrumento musical educacional MIDI deste trabalho.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A compreensão dos elementos envolvidos no processo de aprendizado musical é de extrema importância para a proposta deste trabalho, que visa diminuir as fronteiras entre a prática do instrumento bateria e a teoria musical. A seguir estão descritos alguns conceitos importantes referentes à educação e teoria musical.

4.1 EDUCAÇÃO MUSICAL

O termo educação musical abrange muito mais do que a iniciação musical formal, ou seja, educação musical é a introdução ao estudo formal da música e todo o processo acadêmico que o segue, incluindo a graduação e pós-graduação; educação musical é o ensino e aprendizagem instrumental e outros focos; educação musical é o ensino e aprendizagem informal de música. Desse modo, o termo abrange todas as situações que envolvam ensino e/ou aprendizagem de música, seja no âmbito dos sistemas escolares e acadêmicos, seja fora deles (ARROYO, 2006).

A música apresenta um imenso potencial educacional, uma vez que comunica-se com todos os conhecimentos científicos interligados à matemática, física, história, línguas, além de desenvolver a habilidade motora, manual e intelectual; todos recursos necessários à concretização de uma educação atenta ao objetivo de se atingir o desenvolvimento integral do ser humano (SILVEIRA, 2010).

A compreensão musical consiste na consciência dos significados incorporados nos elementos do discurso musical materiais, caráter expressivo, forma e valor. Compositores, instrumentistas e/ou ouvintes desenvolvem a sensibilidade ao potencial dos materiais sonoros, articulam os gestos expressivos que conferem às peças seu caráter peculiar e projetam as relações entre os motivos, frases e partes. Esta compreensão pode ser desenvolvida de forma mais consciente através das experiências musicais variadas, pela participação ativa e imaginativa na vida fenomenológica das obras musicais (FRANÇA, 2001).

Para (FRANÇA, 2001), o cuidado com o desenvolvimento técnico é de suma importância. O fazer musical envolve tanto a compreensão dos elementos técnicos

quanto as habilidades técnicas para identificá-los e executá-los. Embora o próprio conceito de técnica seja bastante amplo, persiste uma noção central no que diz respeito à sua natureza e propósitos práticos. Podemos considerar uma técnica como o conjunto das competências funcionais necessárias à realização de atividades musicais específicas, como composição, apreciação e desempenho.

4.2 NOÇÕES FUNDAMENTAIS DE TEORIA MUSICAL

Os conceitos de teoria aplicam-se a diferentes instrumentos e portanto é bastante rica em elementos performáticos. Nesta seção serão abordados brevemente alguns tópicos mais importantes referentes à partitura de bateria que serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

4.2.1 Notação de Bateria

A bateria constitui-se em um conjunto de instrumentos de percussão de pratos e tambores, sendo tocados por um único instrumentista através de um par de baquetas. A escolha do instrumento bateria para o desenvolvimento deste projeto ocorre devido ao fato de ser um instrumento que exige do estudante bastante coordenação motora, visto que utilizam-se pés e mãos para a execução do instrumento e por assim dizer, a lacuna entre a prática do instrumento e a teoria musical torna-se ainda maior. A vista superior de uma bateria e seus respectivos nomes é indicado na Figura 2.

Uma partitura é a representação escrita de uma música e contém as notas e diversos elementos performáticos a serem executados por um instrumentista. Alguns dos elementos encontrados em uma partitura são: a fórmula de compasso, as figuras musicais e a clave. Estes elementos serão discutidos nas Seções 4.2.2 e 4.2.3.

A partitura para bateria apresenta as mesmas regras de notação da partitura de outros instrumentos, diferenciando-se apenas por suas linhas não estarem relacionadas com notas musicais mas sim com um instrumento que compõe a bateria.

A clave de uma partitura tem a função de indicar o posicionamento de uma determinada nota em uma das linhas de uma partitura para que a partir desta nota seja possível deduzir o posicionamento das demais notas. No caso da clave neutra utilizada na partitura de bateria, indicada na Figura 4, esta tem a função de sinalizar que a clave será utilizada para representar instrumentos de percussão de altura não determinada, como é o caso de uma bateria ou outro conjunto de percussão. Portanto, a bateria não apresenta notas musicais como dó, ré, mí, fá, sol lá e sí, como ocorre por exemplo, em uma partitura de piano.



Figura 2: Instrumentos que compõe uma bateria.

Fonte: <http://www.maestrobilly.com.br>.

O valor figurativo das notas pode ser diferenciado pela forma da cabeça da figura rítmica. Na Figura 3 são mostradas as distribuições das figuras musicais de cada instrumento da bateria no compasso. A Figura 4 apresenta a partitura de um ritmo musical na bateria, cuja descrição do seu respectivo arquivo MIDI encontra-se na Seção 7.2.

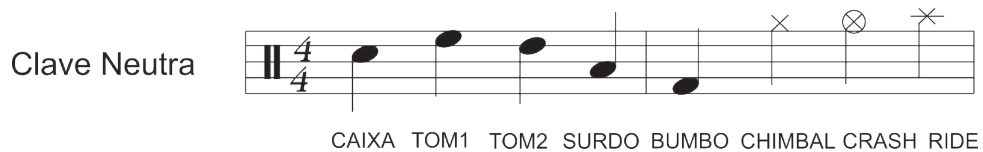


Figura 3: Notas de uma bateria em uma partitura.

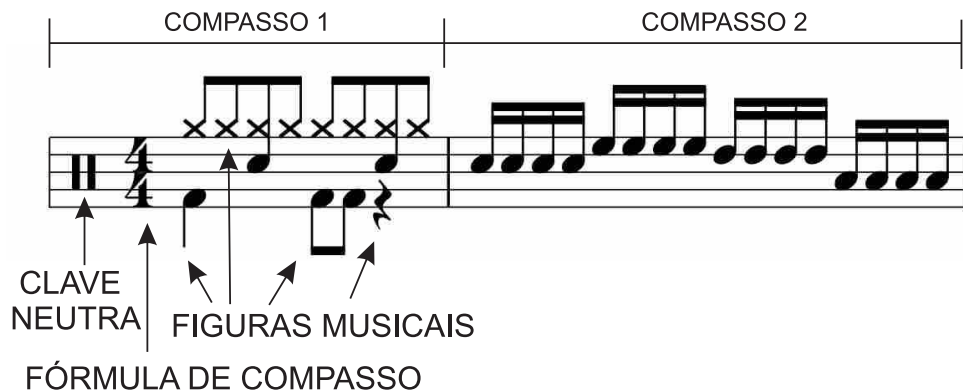


Figura 4: Principais elementos musicais encontrados em uma partitura de bateria.

4.2.2 Fórmula de Compasso

O compasso é a medida musical usada para dividir uma música em fragmentos de igual duração, podendo possuir diversos tipos de divisão, sendo as divisões representadas por indicadores, que são as fórmulas de compasso. Fórmula de compasso, portanto, são os dois números localizados à direita da armadura de clave, que servem para indicar a maneira como o compasso será preenchido. Os compassos dividem-se basicamente em duas categorias: simples e composto. Se o número superior for 2, 3 ou 4, então o compasso é dito “simples”. Se o número superior da fração for 6, 9 ou 12, então o compasso será dito “composto” (MACHADO, 2001). A Figura 4 ilustra o posicionamento da fórmula de compasso no pentagrama. O número superior da fórmula de compasso indica a quantidade de tempos que um compasso possuirá, enquanto que o número inferior indica o valor figurativo da nota que neste compasso valerá um tempo.












4.2.3 Figuras Musicais

Uma figura musical é um sinal gráfico que representa a duração dos sons musicais. O termo “nota musical” abrange um conceito mais amplo pois é constituído dos seguintes elementos: a altura (relacionado à frequência sonora); a duração; a intensidade sonora e o timbre, composto de sons de diferentes frequências harmônicas. O timbre constitui-se em uma característica inerente à qualidade sonora de um instrumento.

Os tempos de execução de notas são representados por símbolos diferentes que denotam diferentes frações de tempo em um compasso¹. Um compasso representa um escopo de tempo definido por uma fórmula. Conforme pode-se observar na Figura 4, a fórmula de compasso 4 por 4 define que um compasso será composto por quatro tempos, onde cada nota semínima equivalerá a um tempo no compasso, ou seja, para preencher um compasso apenas com figuras de semínimas, seriam necessárias quatro semínimas. Como exemplo adicional, tomando-se o valor inferior da fórmula de compasso como sendo igual a oito, isto indicaria que a figura musical de valor relativo igual a 8, que corresponde à colcheia, valeria um tempo no compasso.

A Tabela 1 apresenta as figuras musicais, seus nomes, símbolos e suas durações relativas de tempo. Na Tabela 1 também estão representados os valores equivalentes para as chamadas “pausas”, que representam o silêncio na partitura. Assim como as notas, as pausas também possuem uma representação específica e estão associadas a frações de tempo.

Tabela 1: Símbolos, nomes e duração relativa das figuras musicais (COSTA, 2006).

SÍMBOLO	SÍMBOLO	Nome	Fração de Tempo
		Semibreve	1
		Mínima	1/2
		Semínima	1/4
		Colcheia	1/8
		Semicolcheia	1/16
		Fusa	1/32
		Semifusa	1/64

¹Espaços delimitados por linhas verticais na partitura.

4.3 SINTETIZADORES

Em (HUBER, 2007), o sintetizador analógico é definido como um instrumento desenvolvido para criar e modificar sons através de múltiplos geradores de sinais, filtros e blocos de osciladores para criar formas de ondas complexas que podem ser combinadas para produzir infinitas variações de timbres sonoros. Entretanto, as tecnologias utilizadas atualmente para sintetizar sons empregam uma variedade de dispositivos e algoritmos computacionais, tratando o áudio no domínio digital.

Os sintetizadores digitais implementam diferentes técnicas de síntese sonora. Entre eles, encontram-se as técnicas de síntese por onda fixa, síntese aditiva, síntese subtrativa, síntese granular e outras técnicas denominadas de não-lineares. No entanto, a síntese subtrativa é comum a quase todos os sintetizadores comerciais. Certos sintetizadores apresentam mais de uma forma de síntese e até combinações delas (MILETTO *et al.*, 2004).

A seguir está uma breve descrição de cada método:

- Na síntese por onda fixa, faz-se a execução periódica de uma onda utilizando uma tabela com valores computados em pontos equidistantes;
- Na síntese aditiva, sons complexos são produzidos pela superposição de sons elementares;
- Na síntese subtrativa, utiliza-se um som rico em harmônicos e o seu conteúdo é filtrado e parte do conteúdo harmônico é retirado;
- A síntese granular, diferentemente da síntese por onda fixa, faz o uso de sons elementares de duração constante e executa-se o som em *loop*.

Conforme (MILETTO *et al.*, 2004), alguns fatores predominantes determinam a qualidade de um som digitalizado:

- O número de *bits* usados para cada amostra, também chamado de resolução da amostra: neste caso quanto maior a resolução, mais precisa será a representação do som original no momento em que o sinal é amostrado;
- A qualidade do condicionamento do sinal ao ser amostrado e a taxa de amostragem: um equipamento “*sampler*” (dispositivo que realiza a amostragem) profissional tem a capacidade de fazer 44.100 amostras por segundo, ou seja, produz

uma taxa de amostragem de 44,1 kHz. Alguns equipamentos, no entanto, realizam amostragens com qualidade mais baixa, com taxas de 22 kHz. Neste caso a qualidade do sinal amostrado é menor. A taxa de amostragem digital tem que ser sempre pelo menos o dobro da frequência amostrada para que o som seja digitalizado com precisão, conforme estabelece o teorema de amostragem de Nyquist.

O som pode ser representado de acordo com 4 características (MILETTO *et al.*, 2004):

- Altura: relacionada à sua frequência fundamental. Por exemplo, a nota Lá, apresenta a frequência fundamental de 440 Hz;
- Intensidade: é um conceito associado à amplitude do som;
- Duração: está relacionado ao tempo total em que a nota permanece vibrando;
- Timbre: corresponde ao conjunto de frequências, seus volumes individuais e suas variações no tempo.

De acordo com (MILETTO *et al.*, 2004), pode-se caracterizar graficamente um som através de sua ADSR², também conhecida como "envelope" ou "envoltória". Na Figura 5 temos uma ilustração do gráfico de comportamento no tempo do ADSR, podendo ser aplicado ao timbre, intensidade ou altura do som.

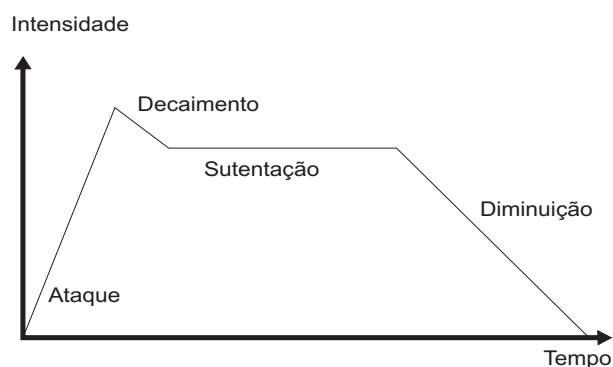


Figura 5: Curva característica de um envelope sonoro.

² *Attack, Decay, Sustain and Release*

A forma de onda de um sinal, e portanto, o timbre, são determinados pela classe de harmônicas somadas à frequência fundamental. Desta maneira, os sons incluem uma variedade de harmônicas diferentes e são estas as responsáveis pelos inúmeros timbres característicos (MILETTO *et al.*, 2004).

4.4 PROTOCOLO MIDI

O protocolo MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) é um padrão de comunicação de dados criado em 1983 por um acordo entre diversos fabricantes de instrumentos musicais norte americanos e japoneses, para possibilitar a transferência de informações entre instrumentos musicais e computadores. O padrão MIDI usa tecnologia digital, codificando eventos musicais em dados binários que são transferidos por meio de uma linha física (cabo MIDI) de um equipamento para outro (MILETTO *et al.*, 2004).

De acordo com (MILETTO *et al.*, 2004), este protocolo é uma representação da informação musical. Em geral, arquivos MIDI (com extensão .mid ou .smf) contém o equivalente a uma partitura para o computador ou instrumento MIDI. Seu código são instruções para um sintetizador, que apresentam codificação de eventos musicais como soar uma nota, silenciar uma nota, tempos de duração das notas, mudar o andamento ou o tom da música e muitas outras instruções para o dispositivo MIDI. Assim sendo, o tamanho dos arquivos MIDI tende a ser bastante reduzido em relação ao tamanho que ocuparia uma música em formato de áudio com extensão .wma, .wav ou .mp3 por exemplo.

O sintetizador interpreta este código e o executa, podendo usar vários timbres de instrumentos simultaneamente. Portanto, a qualidade de reprodução dos timbres dos instrumentos codificados na partitura MIDI dependem exclusivamente do sintetizador.

Uma partitura pode ser tão complexa quanto desejar o compositor, sendo que uma série de elementos performáticos podem ser inseridos em um arquivo MIDI. Porém, nem todos são triviais de serem executados por uma máquina. As ligaduras de valor são um exemplo disto, uma vez que nem todas as interfaces MIDI serão capazes de reproduzir tais elementos (COSTA, 2006). Por consequência, uma mesma música poderá soar bastante diferente se tocada em diferentes sintetizadores.

Um exemplo comum da utilização do protocolo MIDI, seria o de um músico controlando um teclado a partir de outro (controle remoto), sendo que as ações de execução musical são codificadas e transmitidas pelo cabo MIDI para o outro teclado, que recebe, decodifica e executa aquelas mesmas ações. Assim, numa implementação bastante simples, é possível tocar dois ou mais instrumentos a partir de um deles, o que possibilita, entre outras coisas, a superposição dos sons dos vários instrumentos controlados simultaneamente.

4.5 CONTROLADORES MIDI

Um controlador MIDI é um dispositivo projetado para controlar outras interfaces MIDI, podendo ser, equipamentos de áudio, luz, DAW's³ ou outros instrumentos musicais. Estes dispositivos, diferentemente dos sintetizadores, não possuem necessariamente osciladores ou DSP's, porém, a enorme variedade de controles e instruções MIDI permite controlar a sintetização digital dos sons com bastante eficácia (HUBER, 2007).

Desde que os controladores se tornaram parte integrante da produção musical, foram criados os mais variados tipos de instrumentos musicais digitais, tais como teclados musicais, flautas, guitarras, *drum machines*⁴. Vale ressaltar que, embora o objetivo principal do MIDI seja transferir dados referentes à execução musical, seu uso tem se expandido de tal forma que atualmente o MIDI é usado também para outras aplicações de alguma forma relacionadas à música, como controle de iluminação e equipamentos de áudio (MILETTO *et al.*, 2004). As figuras 6, 7, 8 e 9 mostram alguns instrumentos baseados em controladores MIDI:



Figura 6: Teclado Sintetizador MIDI (HUBER, 2007).

³*Digital Audio Workstation: Softwares* para gravação multipista.

⁴Módulo MIDI para bateria eletrônica usualmente utilizando DSP's para processamento de áudio.



Figura 7: Guitarra MIDI (HUBER, 2007).



Figura 8: Flauta MIDI (HUBER, 2007).



Figura 9: Bateria MIDI (HUBER, 2007).

4.6 ESTRUTURA DE UMA MÁQUINA MIDI

Entende-se por “máquina MIDI” o dispositivo que decodifica e executa os arquivos MIDI. A utilização mais comum do padrão MIDI é a sincronização das notas produzidas por diferentes sintetizadores durante a reprodução de uma música utilizando-se um instrumento controlador (MACHADO, 2012). Porém além desta função, é possível também realizar a gravação e edição de músicas gerando arquivos MIDI. Uma vez que o arquivo MIDI foi criado é possível gerar partituras através de editores próprios para a composição musical como o *software* MuseScore ⁵.

Para que os dispositivos MIDI de diferentes fabricantes pudessem decodificar e executar arquivos MIDI gerados por diferentes fabricantes foi criado o padrão *Standard MIDI File* (SMF). De modo geral estes arquivos são registros digitais dos eventos executados pelo instrumentista através de um controlador MIDI (MACHADO, 2012).

Existem três formatos de arquivo MIDI: o formato 0, o formato 1 e o formato 2. O mais utilizado porém é o formato 1 (MACHADO, 2012). Na Figura 10 é mostrada a estrutura de um arquivo MIDI no formato 1 e na Figura 11 é mostrada a estrutura do cabeçalho e estrutura de *track* de um arquivo MIDI. O número de *tracks* define a quantidade de pistas de gravação, ou seja, a quantidade de camadas de áudio individuais o arquivo terá. Em cada uma destas camadas é registrado separadamente a execução de um determinado instrumento que compõe o arquivo. Desta maneira, em um *track* pode-se ter a bateria, em outro *track* um violão e em outro um contrabaixo, por exemplo.

CABEÇALHO PRINCIPAL	TRACK 1	TRACK 2	TRACK 3	TRACK 4	...
---------------------	---------	---------	---------	---------	-----

Figura 10: Esquema do arquivo MIDI (MACHADO, 2012).

⁵www.musescore.org

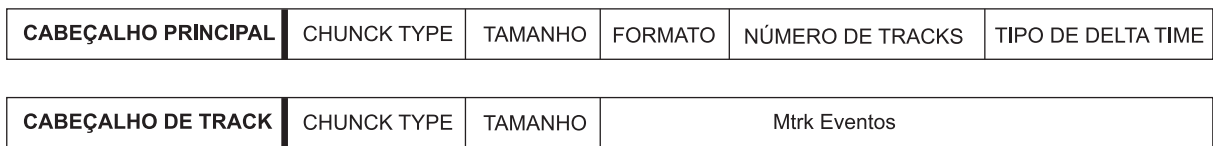


Figura 11: Estrutura de cabeçalho e de *track* de um arquivo MIDI (MACHADO, 2012).

No cabeçalho principal do arquivo temos o chamado *Chunk Type* (MThd), que define um conjunto de 4 *bytes* (0x4D 0x54 0x68 0x64) que indica o início de um bloco de instruções que contém as propriedades globais do arquivo MIDI. A instrução referente ao tamanho do arquivo indica a quantidade de *bytes* que o bloco de instruções apresenta. O formato de arquivo define qual o tipo de arquivo MIDI que a música foi escrita, podendo ser o formato 0, formato 1 ou formato 2, ocupando no máximo 2 *bytes* de instrução.

No cabeçalho dos *tracks* tem-se novamente o *Chunk Type* (MTrk) do bloco respectivo aos *tracks* (0x4D 0x54 0x72 0x6B). No *Chunk Type* de um *track* temos instruções específicas para o canal de um determinado instrumento. Na sequência da seção dos *tracks* temos o tamanho do *track* em *bytes* e os eventos *Meta Tracks*. Os meta-eventos são instruções tais como: *set time* que tem a função de assinalar a base de tempo da música em batidas por minuto; fórmula de compasso que já foi comentada na Seção 4.2.2; armadura de clave (*Key Signature*).

O maior desafio de se trabalhar com arquivos MIDI é a correta manipulação dos chamados “*Delta-times*”. Estas instruções correspondem ao tempo de duração das notas (PPQ), podendo-se utilizar até 4 *bytes* com tempo de duração de uma nota. Em cada *byte* é possível utilizar apenas 7 *bits*, sendo que o *bit* mais significativo é utilizado para sinalizar a existência de um *byte* adicional para representar a duração de uma nota (MACHADO, 2012). Na Figura 12 é ilustrado como são representados os PPQs das notas em *Delta-times*.

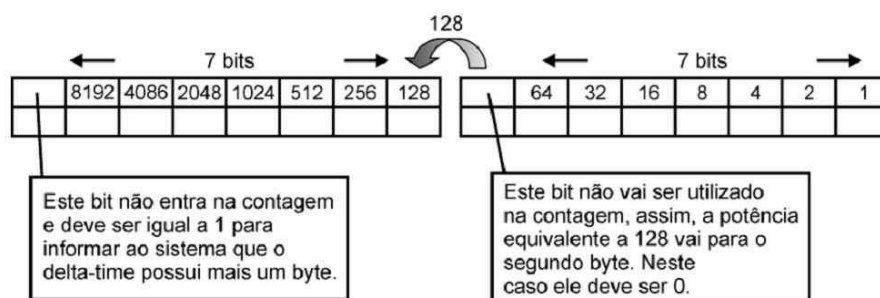
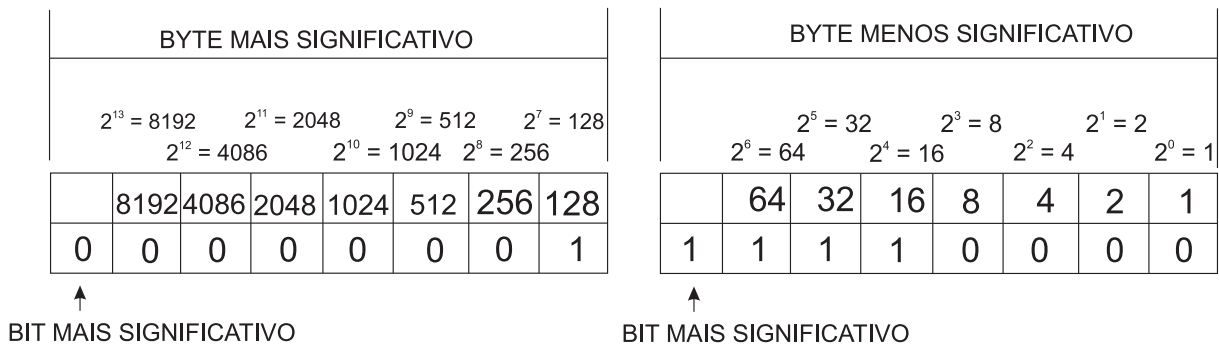


Figura 12: Conversão de um PPQ em um *Delta-time* (MACHADO, 2012).

A Figura 13 ilustra a conversão de um PPQ com valor igual a 240 em um *Delta-time*. Para cada *bit* há um valor binário correspondente, que, convertido em valor decimal resulta em uma parcela de um *Delta-time*. Somando-se os valores decimais parciais respectivos de cada posição do *byte*, é possível obter um valor de PPQ correspondente, conforme é ilustra a imagem.



$$\text{PPQ} = 128 + 64 + 32 + 16 = 240$$

Figura 13: Exemplo de conversão de um PPQ em um *Delta-time*.

Neste trabalho, optou-se por simplificar o arquivo MIDI a ser decodificado, para otimizar os recursos de processamento do microcontrolador de modo a conseguir obter os resultados desejados no escopo deste projeto. Portanto, foi implementado um decodificador MIDI que decodifica as instruções mais fundamentais estabelecidas pelo formato MIDI, que abrangem as instruções de *note on*, *note off* e a duração da nota (PPQ) embutida nos *Delta-times*. As instruções de *note on* são utilizadas para sinalizar ao dispositivo MIDI que há uma nota ativa e no caso de um *note off* esta instrução sinaliza que uma nota foi desativada.

Adotou-se o tamanho de 1 *byte* do *Delta-time* para representar o valor máximo do *Pulse Per Quarter Note* (PPQ), sendo que o PPQ da semínima corresponde ao valor de 0x42 na base numérica hexadecimal. Todos os demais valores de PPQ das notas são tomados com referência à semínima, sendo múltiplos inteiros desta, conforme pode-se observar na Tabela 2.

Também adotou-se um valor fixo para a intensidade da nota tocada (valor correspondente a 0x50 na base numérica hexadecimal). Os resultados obtidos com estas simplificações na implementação da máquina MIDI são discutidos na seção 7.2.

Na Tabela 2 são mostrados os valores de PPQ adotados para as notas e na Tabela 3 estão os valores MIDI adotados para representar cada instrumento da bateria, conforme estabelece o padrão MIDI.

Tabela 2: Relação dos valores de PPQ adotados.

Nota	PPQ
Semibreve	0x7F
Mínima	0x93
Semínima	0x49
Colcheia	0x24
Semicolcheia	0x12
Fusa	0x09
Semifusa	0x04

Tabela 3: Relação dos códigos das notas musicais no padrão MIDI.

Instrumento	Nota MIDI
Caixa	0x38
Tom 1	0x50
Tom 2	0x45
Surdo	0x41
Bumbo	0x36
Chimbal	0x42
Crash	0x49
Ride	0x51

4.7 MICROCONTROLADORES

Um microcontrolador é um circuito integrado programável que apresenta a arquitetura de um microcomputador. Nele encontramos uma Unidade Central de Processamento (CPU), memória de acesso randômico (RAM) ⁶, memória de dados não volátil (EEPROM) ⁷, portas de IO⁸, e adicionalmente podem incluir módulos de Modulação por Largura de Pulso (PWM) ⁹, conversores Analógico-Digitais (A/D) ¹⁰, módulos para comunicação de interface serial periférica (SPI) ¹¹ entre outros recursos (OKI; MANTOVANI, 2013). Os microcontroladores diferem dos microprocessadores pela pequena capacidade de suas memórias e na velocidade de processamento, que são bem inferiores às de um microprocessador e são utilizados em aplicações específicas.

Neste projeto, serão utilizados dois microcontroladores: um para desenvolver um controlador MIDI que se comunicará por meio de canal sem fio com um computador, e também para desenvolver um decodificador de arquivos MIDI; o outro microcontrolador será utilizado para realizar a interface entre um módulo de comunicação de radiofrequência com um computador.

4.8 SENSORES

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), sensores são elementos de sistemas de medição que são diretamente afetados por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida. Existe uma infinidade de sensores, podendo ser encontrado por exemplo, sensores piezoelétricos, termopares, sensores infravermelho e sensores de pressão.

Os sensores utilizados neste trabalho são elementos piezoelétricos de fácil aquisição no mercado e baixo custo. Estes sensores serão instalados em cada uma das partes que compõe a bateria para capturar as vibrações mecânicas geradas

⁶**Random Access Memory:** Utilizada para armazenar os arquivos e programas que são processados em tempo de execução. Este tipo de memória não armazena os dados após a desernegação.

⁷**Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory:** memória de dados não volátil utilizada para salvar dados mesmo quando o circuito é desernegado.

⁸**Input/Output**

⁹**Pulse Width Modulation**

¹⁰**Módulo de conversão de sinais analógicos para digitais**

¹¹**Serial Peripheral Interface:** protocolo que permite a comunicação do microcontrolador com outros componentes, formando uma rede.

quando o instrumentista toca o instrumento. O disco fino do sensor é constituído de uma estrutura fina em forma de disco que contém três componentes: uma membrana de piezocerâmica; folha de metal de liga de níquel e por último, uma membrana de solução em gel utilizada como eletrodo (VIGINOSKI, 2013).

O sensor piezoelétrico (do grego, “piezo” significa “pressão”), conforme a Figura 14, produz um sinal elétrico de saída quando excitado mecanicamente. O processo reverso também é possível: se for aplicada uma tensão elétrica, haverá uma vibração mecânica como saída (SHACKELFORD, 2008).



Figura 14: Sensor Piezoelétrico.
Fonte: <http://www.infotronic-pe.com>.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste trabalho foram desenvolvidos a parte estrutural da bateria, ou seja, a construção dos pads¹ e estrutura de sustentação, o protótipo do módulo MIDI da bateria onde são conectados os *shields*² com sensores e LEDs instalados nos pads, o transceptor *wireles* que é acoplado ao computador através de um conversor serial USB e o *software* sintetizador da bateria desenvolvido na linguagem MatLab. A seguir estão descritos os procedimentos adotados no desenvolvimento do sistema.

5.1 ESTRUTURA DO PROJETO

O sistema desenvolvido consiste basicamente em uma bateria musical eletrônica didática composta de pads de tambores e pratos; rack para suporte dos pads; módulo MIDI e o *software* de sintetização MIDI. O módulo da bateria é, em termos gerais, um controlador MIDI, que envia os dados para o computador por meio de canal sem fio. O computador sintetiza os sons de acordo com as instruções recebidas. Uma ilustração do sistema é mostrada na Figura 15.

O módulo da bateria decodifica um arquivo MIDI salvo em um cartão SD que pode ser inserido através da parte externa do módulo. Desta maneira, o mesmo realiza a leitura do arquivo, sendo possível então, capturar os tempos de duração e as notas (representadas pelos pads) que devem ser tocadas de acordo com a execução da partitura.

A intenção deste projeto é que o estudante de bateria, de posse do arquivo MIDI, que corresponde à sequência de notas a serem tocadas, possa abrir este arquivo no módulo da bateria. Desta maneira, o módulo realizará a leitura do arquivo e acenderá os LEDs nos pads que o aluno deverá tocar para executar um determinado exercício ou música, selecionando a opção desejada através dos menus de navegação do aparelho.

¹Cada uma das partes do instrumento compostas pelos tambores e pratos com sensores e *shields*.

²Placa com sensores e circuitos para chaveamento dos LEDs instalados em cada tambor e pratos do instrumento.

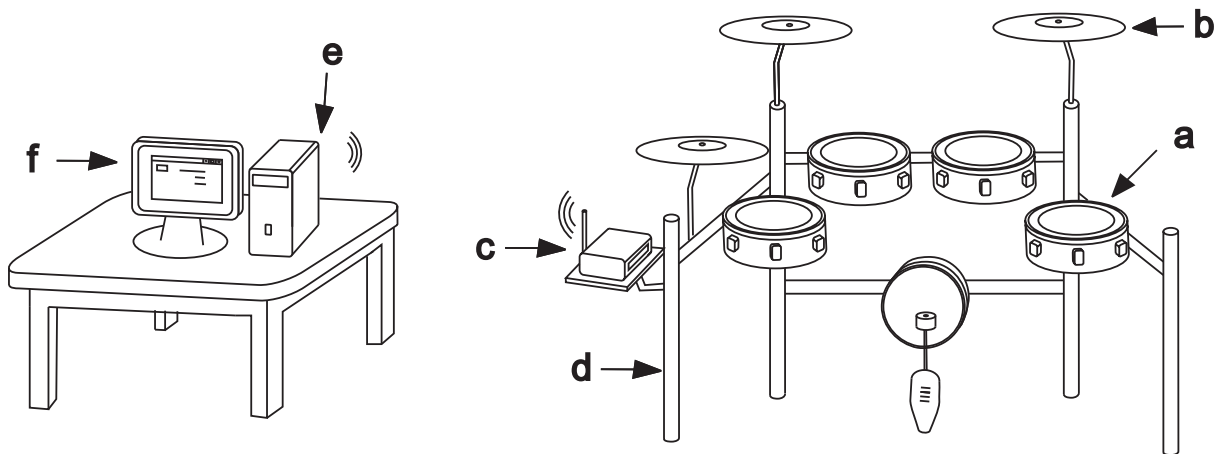


Figura 15: Ilustração do instrumento comunicando-se com um computador através de canal sem-fio. a) Pad do tambor. b) Pad do Prato. c) Módulo MIDI que se comunica via sem-fio com o computador. d) Rack para montagem das peças da bateria. e) Receptor sem fio instalado no computador envia as instruções recebidas da antena para o computador. f) O computador sintetiza os sons do instrumento.

5.2 ESTRUTURA FÍSICA

Nesta seção apresenta-se a estrutura física das partes de sustentação do instrumento e também da construção dos pads. A parte física foi construída baseada na estrutura real de uma bateria eletrônica, visando que o instrumentista possa ter uma boa *performance* ao se tocar o instrumento.

5.2.1 Pad dos Tambores

Na Figura 16 é mostrado o pad criado para os tambores: Caixa, Tom 1, Tom 2 e Surdo. Na Figura 17 é mostrado a vista superior e inferior do pad. Cada pad dos tambores foi construído a partir de tubos de PVC de 100 mm, sendo recortado com altura de 14 cm. Após o recorte, a parte exterior da peça de PVC foi coberta por um filme adesivo com aspecto de chapa de madeira. Os itens indicados na Figura 16 são:

1. Peça utilizada para a fixação da pele do pad. Os aros tensionam a pele que está em contato com o sensor instalado internamente ao centro do tambor;
2. Peça para fixação do tambor à estrutura, denominada de “caneca”;
3. Casco do tambor feito em tubo de PVC com diâmetro de 100 mm;



Figura 16: Visão lateral do pad dos tambores.

4. Fixação dos parafusos dos aros, conhecida como “canao”. A peça utilizada nos pads são suportes utilizados na fixação de prateleiras de vidro;
5. Borda interna feita em plástico poliestireno transparente. Nele estão fixados os leds utilizados para sinalizar quando o pad deve ser tocado;
6. Perfil de alumínio utilizada para a fixação do shield do sensor;
7. Espuma de alta densidade utilizada para a transferência da vibração mecânica gerada pela percussão do tambor. Esta espuma fica em contato com a pele do tambor e o sensor piezoelétrico, instalado no *shield* e fixado no perfil de alumínio;
8. Pele do tambor. Esta é uma pele denominada “resposta” e é utilizada em tambores acústicos na parte inferior dos mesmos para dar uma melhor característica sonora.

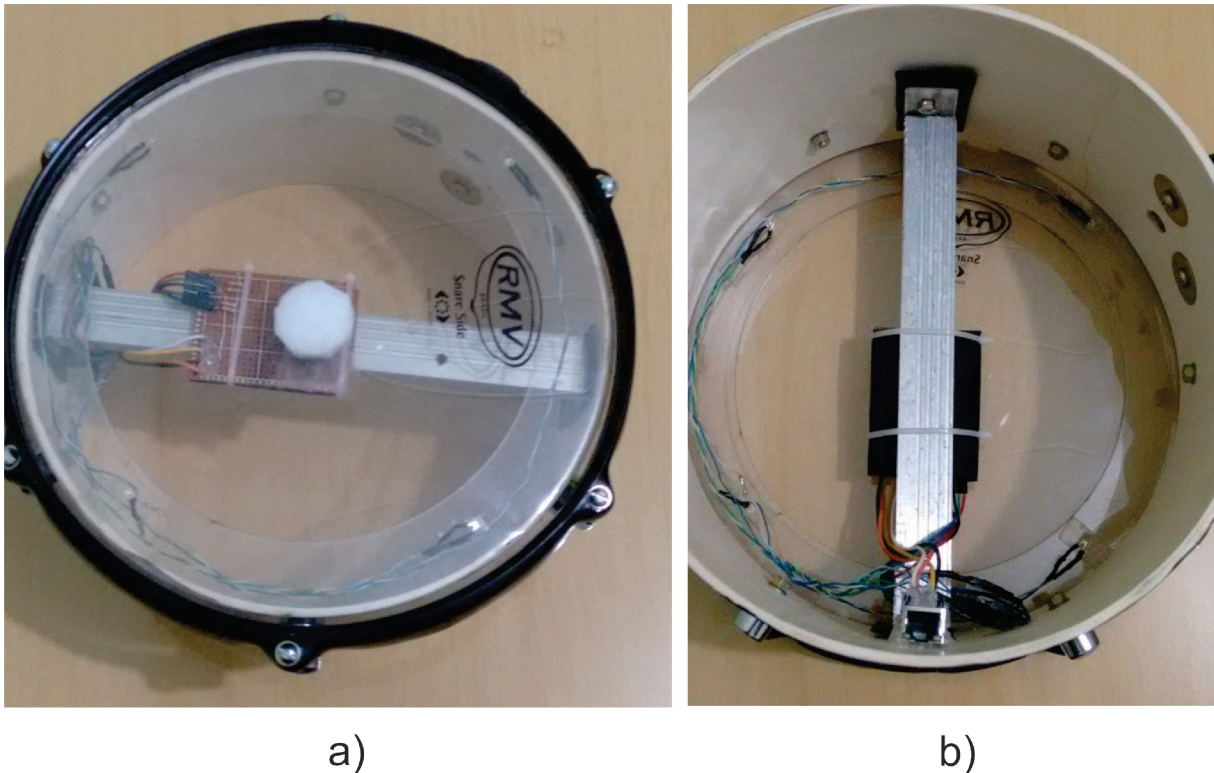


Figura 17: Vista superior e inferior de um pad dos tambores.

a) Vista superior. **b)** Vista inferior.

5.2.2 Pad dos Pratos

Os pads dos pratos foram confeccionados a partir de chapas de plástico de poliestireno transparente. Para a confecção destes, foram recortados círculos com diâmetro de 30 cm. Feito isso, os recortes foram prensados em moldes, onde se empregaram pratos de bateria acústica. Para que o plástico tomasse a forma, o conjunto do recorte mais os moldes de pratos, foram aquecidos em um forno a uma temperatura de aproximadamente 100 °C , durante 20 minutos.

Na Figura 18 está o resultado de um dos pads dos pratos já confeccionado. A Figura 18 (a) mostra a parte superior de um pad de pratos enquanto que a imagem (b) mostra a parte inferior, cujos detalhes apontados são:

1. Caixa para acomodação do circuito do pad;
2. Prato em plástico de Poliestireno;
3. LEDs de sinalização que indicam quando a peça deve ser percutida, sendo controlados pelo módulo MIDI.

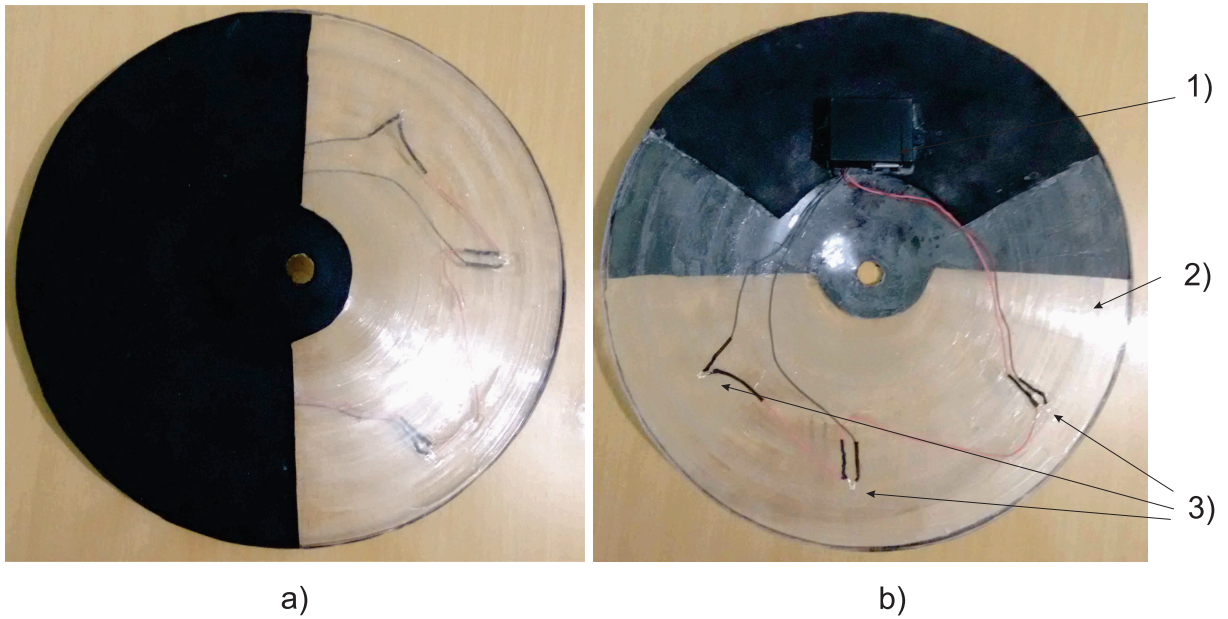


Figura 18: Vista superior e inferior de um pad de pratos.
a) Vista superior. **b)** Vista inferior.

5.2.3 Pad do Bumbo

Para a construção do pad do bumbo, utilizou-se o mesmo *shield* utilizado nos demais tambores. A estrutura física porém, foi construída a partir de um pandeiro e uma estrutura de ferro que dá suporte ao instrumento e serve de fixação ao pedal que é utilizado para percutir a peça. Na Figura 19 pode-se observar a montagem das peças na parte interna do pandeiro.

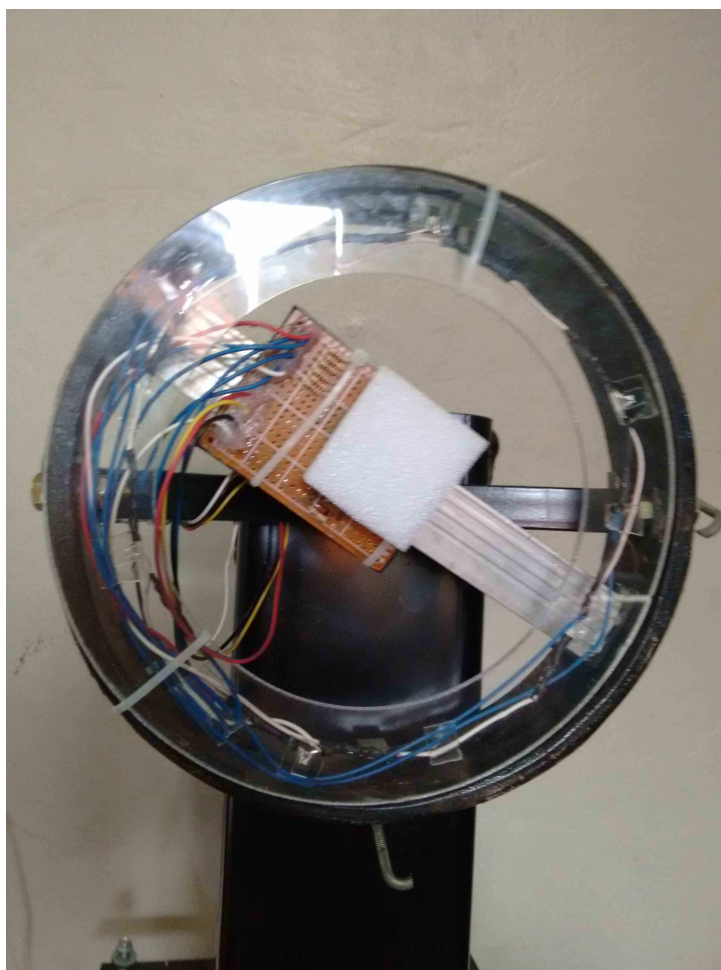


Figura 19: Vista frontal do pad do bumbo.

5.3 MÓDULO MIDI

O módulo MIDI consiste no circuito que realiza a leitura dos sensores dos pads, comunica-se com um computador por meio de um transceptor *wireless* e controla o acendimento dos LEDs dos pads por meio da decodificação de um arquivo MIDI previamente gravado em um cartão SD. Nele são encontrados: um microcontrolador PIC18F4550; um transceptor wireless NRF24L01; um multiplexador de entradas analógicas (CD54HC4051); 8 transistores do tipo PNP e 8 conectores do tipo RJ45. A seguir estão detalhadas as etapas empregadas no processo de desenvolvimento. Para maiores detalhes dos circuitos, consulte o anexo A.

5.3.1 Microcontrolador PIC18F4550

O microcontrolador de 8 *bits* do fabricante Microchip, série 18F4550 (Figura 20) apresenta encapsulamento (DIP)³ e 40 pinos, sendo 35 disponíveis para uso como entradas ou saídas (I/O). Possui 13 canais de conversores A/D com resolução de 10 *bits*, 1 módulo SPI, 1 barramento serial multi-mestre (I²C) e 1 módulo de recepção / transmissão assíncrona universal (UART). Possui também 32 kB de memória Flash e 256 *bytes* de memória EEPROM. Adicionalmente, possui 4 temporizadores internos, sendo 1 de 8 *bits* e outros 3 de 16 *bits*.

A escolha deste microcontrolador deve-se às suas características de processamento e quantidade de pinos de I/O e também devido ao seu baixo custo, atendendo bem aos requisitos do projeto. Os recursos mais importantes do microcontrolador para o desenvolvimento deste projeto são o módulo SPI (utilizado na comunicação do microcontrolador com os módulos da antena e do módulo do cartão SD) e a grande quantidade de pinos digitais disponíveis para acionamento dos LEDs e também para controle do multiplexador e dos módulos do cartão SD e da antena. Na Figura 21 é mostrado o diagrama de conexão dos pinos do microcontrolador com os demais dispositivos do sistema.

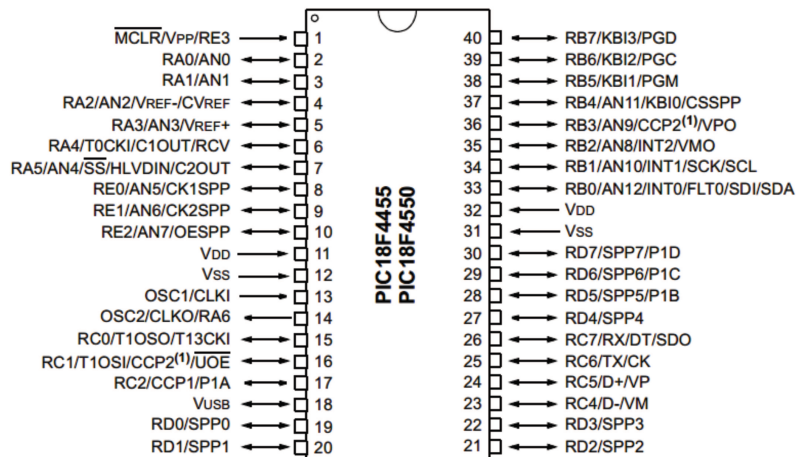


Figura 20: Microcontrolador PIC 18F4550 (MICROCHIP, 2009).

³*Dual-in-Line Package*: Tipo de encapsulamento de um circuito integrado que possui pinos apropriados para conexão através de orifícios em placas de circuito impresso.

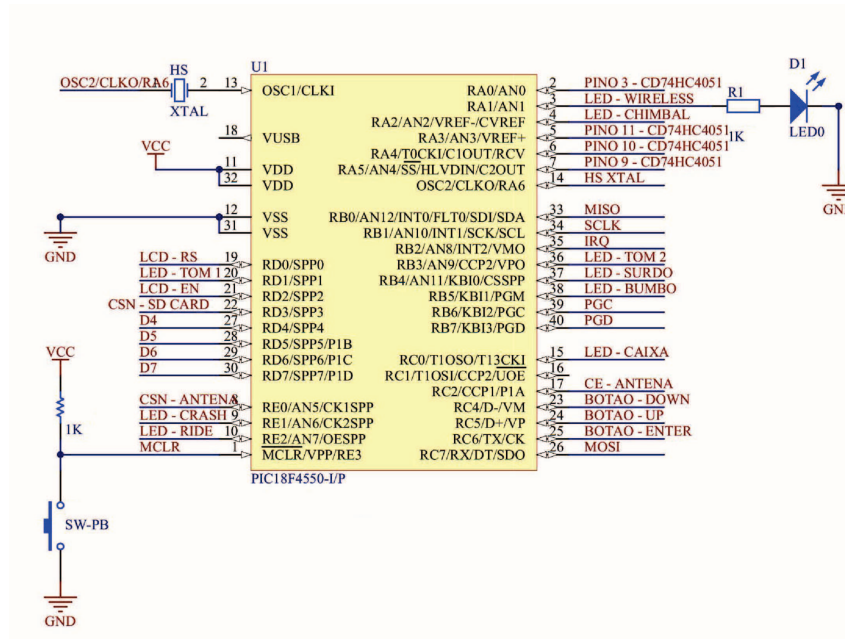


Figura 21: Esquema conexão dos pinos do microcontrolador.

5.3.2 Multiplexador de Entradas Analógicas CD54HC4051

A escolha de um multiplexador de entradas analógicas deve-se à necessidade de pinos de saída digitais pelo sistema. Com este circuito integrado é possível multiplexar até 8 canais analógicos com 3 pinos de seleção do microcontrolador configurados como saída digital (Figura 22). Portanto, há uma economia tanto de entradas analógicas quanto de pinos disponíveis para serem usados como entradas ou saídas digitais. Na Figura 23 é mostrado o diagrama de conexão do multiplexador com o microcontrolador.

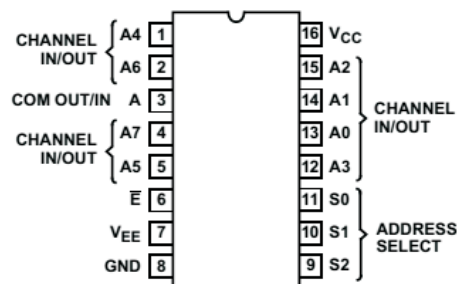


Figura 22: Multiplexador de entradas analógicas (Ti, 2004).

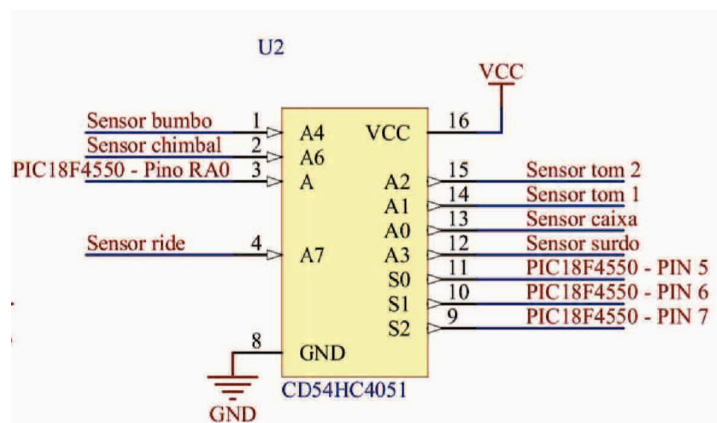


Figura 23: Conexão dos pinos do multiplexador com o microcontrolador.

5.3.3 Display LCD

O display de cristal líquido (LCD) mostrado na Figura 24 a ser utilizado possui 2 linhas com 16 espaços reservados para caracteres alfanuméricos. Este dispositivo será usado no módulo para apresentar os menus do instrumento para o usuário. Na Figura 25 é mostrado o diagrama de conexão dos pinos do display LCD com o microcontrolador.



Figura 24: Display LCD 16x2.
Fonte: <http://www.casadoci.com.br>.

5.3.4 Módulo *Wireless* NRF24L01

O módulo *wireless* utilizado neste projeto (ver Figura 26), utiliza um chip NRF24L01 para a comunicação. Este chip comunica-se através do protocolo SPI e opera na faixa de 2,4 GHz de frequência, podendo ser configurado para a transmissão de dados a uma taxa de 250 kbps, 1 Mbps ou 2 Mbps. Este circuito integrado é um dos mais baratos disponíveis no mercado e apresenta baixo consumo de corrente

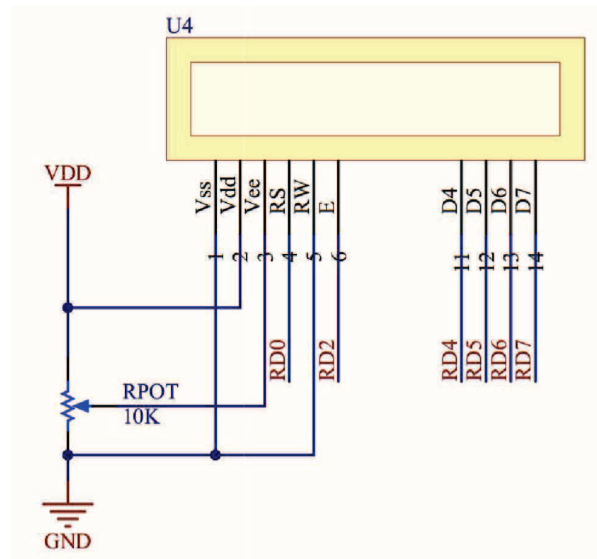


Figura 25: Conexão dos pinos do display LCD com o microcontrolador.

quando ativo (em torno de 12 mA quando está transmitindo e em torno de 13,5 mA quando está configurado como receptor e para máxima potência). O alcance, em áreas abertas, pode atingir até 100 metros de distância. Dadas estas características, este circuito correspondeu às necessidades deste projeto. Na Figura 27 é mostrado o diagrama de conexão do módulo NRF24L01 com o microcontrolador.

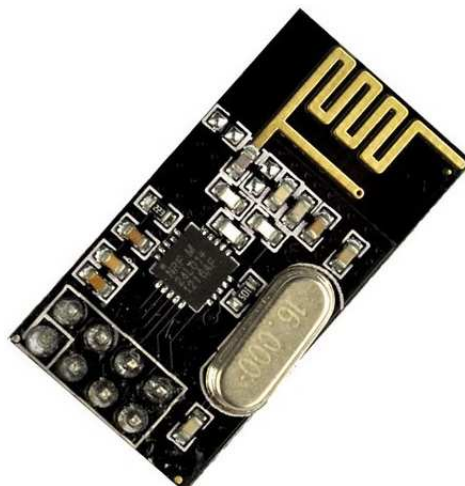


Figura 26: Módulo de comunicação sem fio NRF24L01 (NORDIC, 2008).

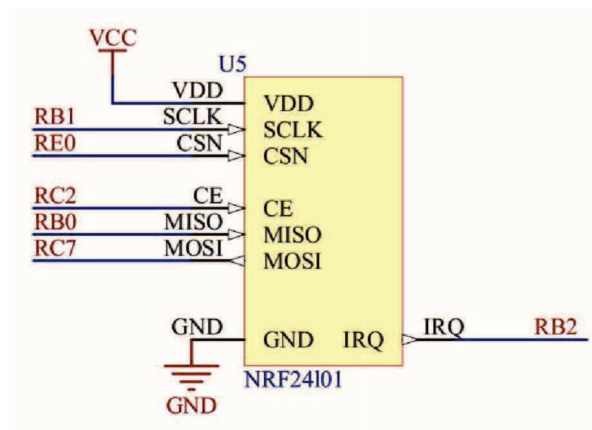


Figura 27: Conexão dos pinos do módulo sem fio com o microcontrolador.

5.3.5 Módulo Para Cartão de Memória Externo

Há diversas aplicações em sistemas embarcados onde se faz necessária a utilização de uma memória externa, por conta do espaço de memória interna do microcontrolador ser bastante reduzida, quando há a necessidade de gravar informações de dados coletados por um longo período de tempo ou mesmo quando há a necessidade de realizar alguma operação de leitura de informações que são repassadas externamente ao módulo. Neste projeto em específico houve a necessidade de gravar um arquivo MIDI a partir do computador, e por conta da praticidade de se utilizar um cartão de memória SD, foi utilizado um módulo que permite o encaixe do mesmo. Este módulo é necessário para que o acesso aos pinos de comunicação estivessem acessíveis ao microcontrolador.

Para se utilizar o cartão de memória externo micro SD no módulo MIDI, deve-se formatá-lo no modo FAT32, podendo-se utilizar um computador para isso. Na Figura 29 é mostrado o diagrama de conexão do cartão SD com o microcontrolador.



Figura 28: Módulo para cartão micro SD.

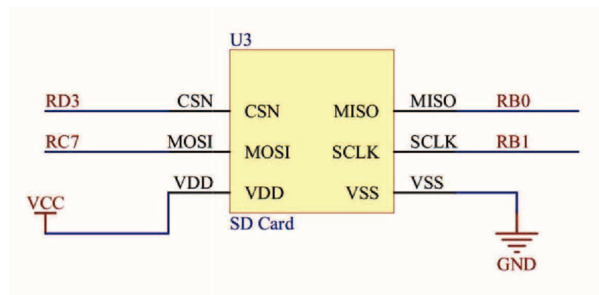


Figura 29: Conexão dos pinos do módulo do cartão SD com o microcontrolador.

5.3.6 Circuito do Módulo MIDI

Na Figura 30 está mostrado parte do circuito do módulo MIDI desenvolvido, onde:

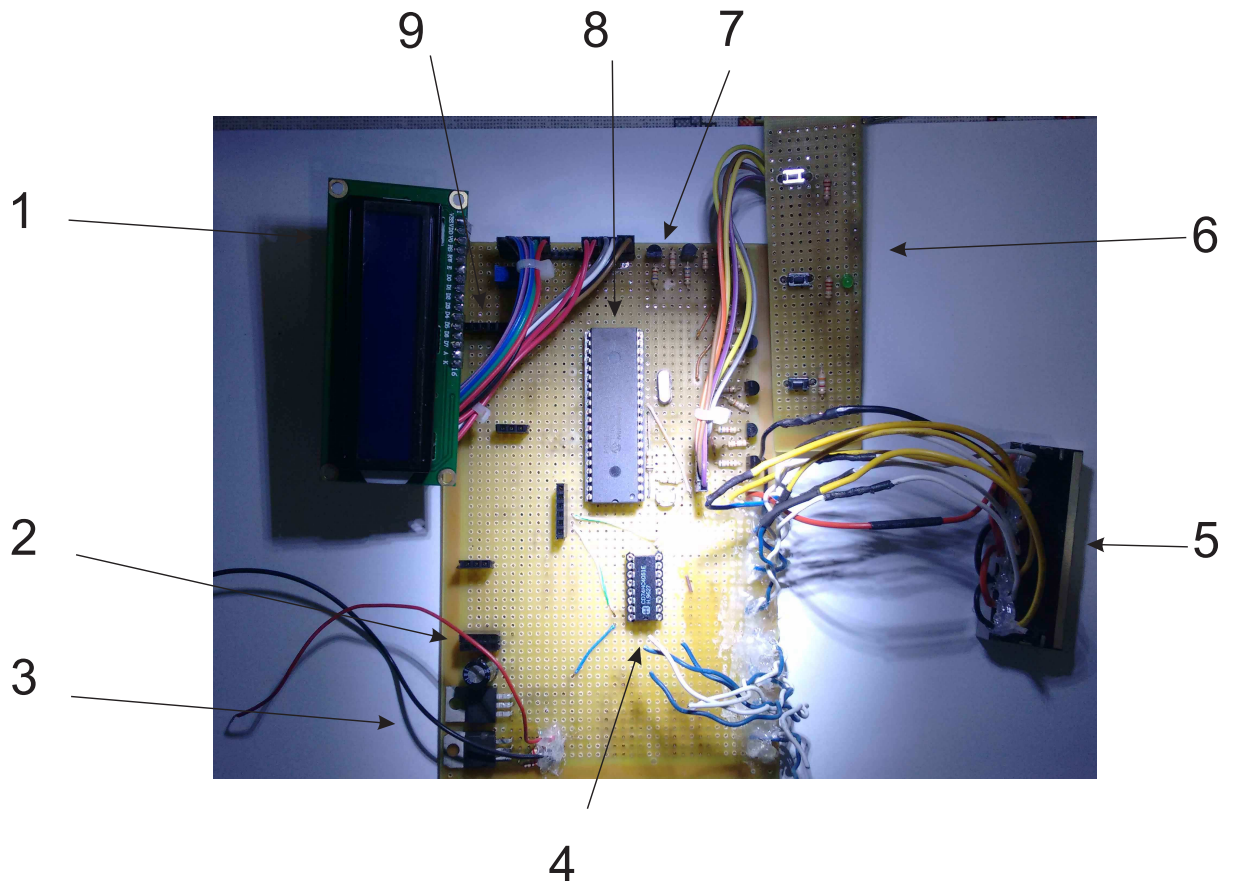


Figura 30: Circuito do Módulo MIDI.

1. Display LCD 16x2 utilizado como interface entre o usuário e o instrumento para mostrar menus;
2. Conectores para encaixe do módulo wireless NRF24L01;
3. Circuito de alimentação do módulo;
4. Multiplexador CD54HC4051;
5. Conectores RJ45 Fêmea (ver Figura 33);
6. Botões dos menus de navegação;
7. Transistores usados para o chaveamento dos LEDs;

8. Microcontrolador PIC18F4550;
9. Conectores para encaixe do módulo do cartão SD.

Na Figura 31 é mostrado o esquema de ligação dos botões de navegação do módulo MIDI.

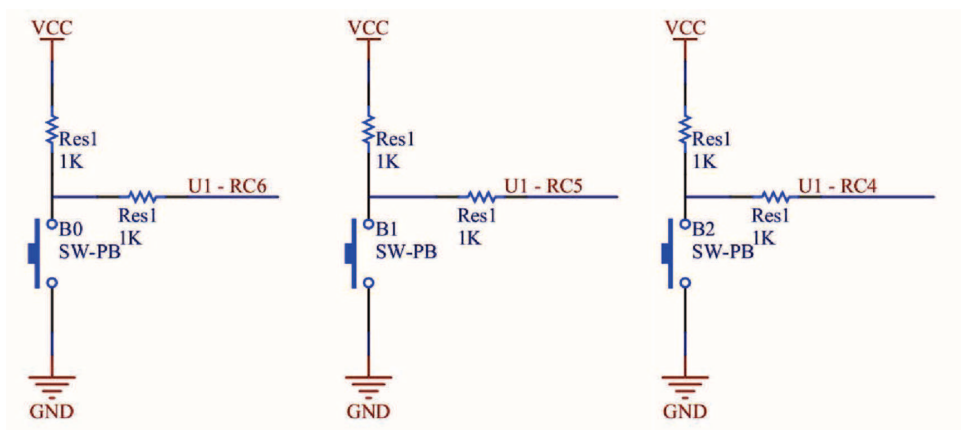


Figura 31: Esquema de ligação dos botões de navegação do sistema.

5.3.7 Acomodação do Módulo MIDI

Na Figura 32 está mostrado a vista frontal da caixa onde foi instalado o circuito do módulo MIDI.

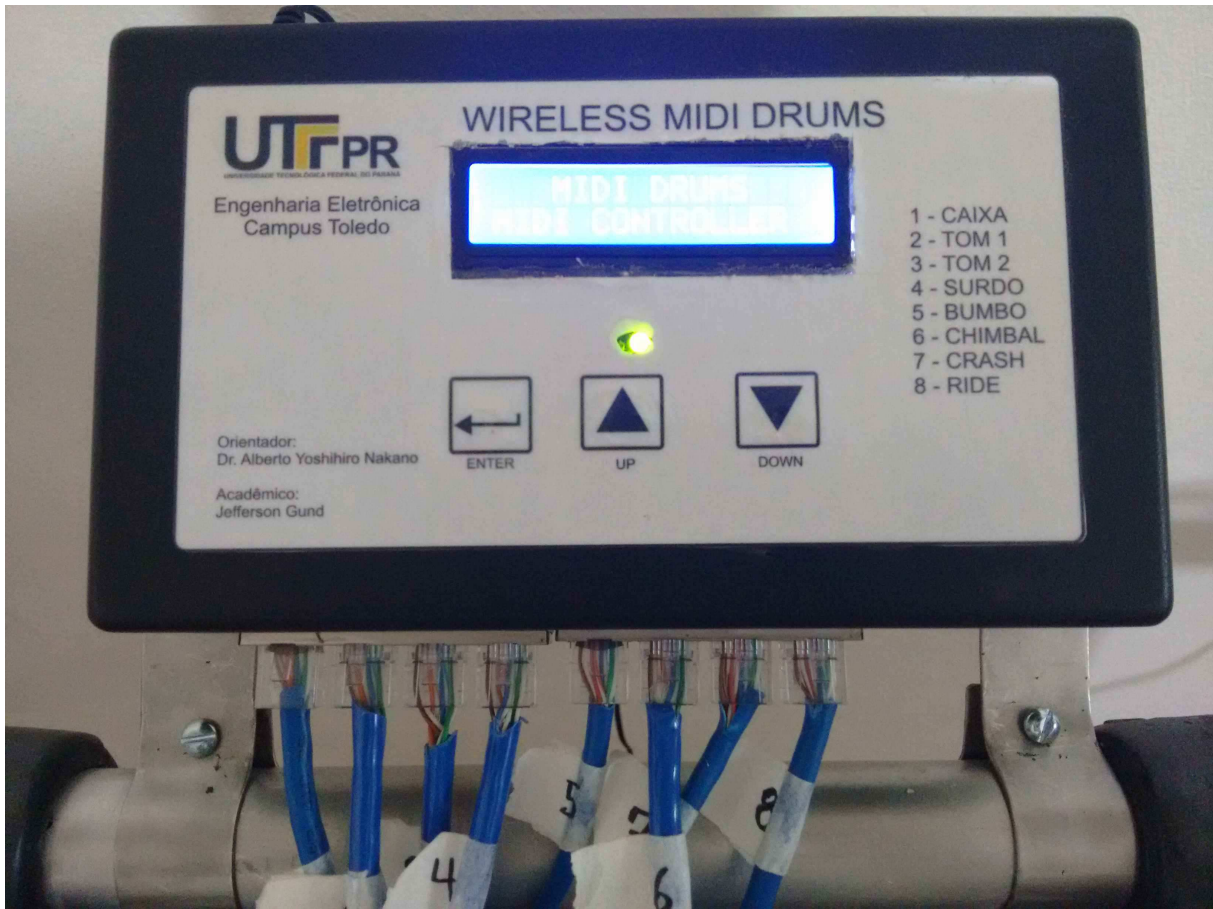


Figura 32: Vista frontal do módulo MIDI.



Figura 33: Detalhes dos conectores RJ45.

5.4 RECEPTOR WIRELESS

O circuito do receptor sem fio contém os seguintes componentes: um microcontrolador PIC16F877a; um módulo conversor serial-USB e um módulo transceptor sem fio NRF24L01 (já abordado na Seção 5.3.4)

5.4.1 Módulo *Wireless* NRF24L01

O módulo receptor consiste no mesmo circuito utilizado no módulo MIDI. Na Figura 34 é mostrado o esquema de ligação do módulo com o microcontrolador.

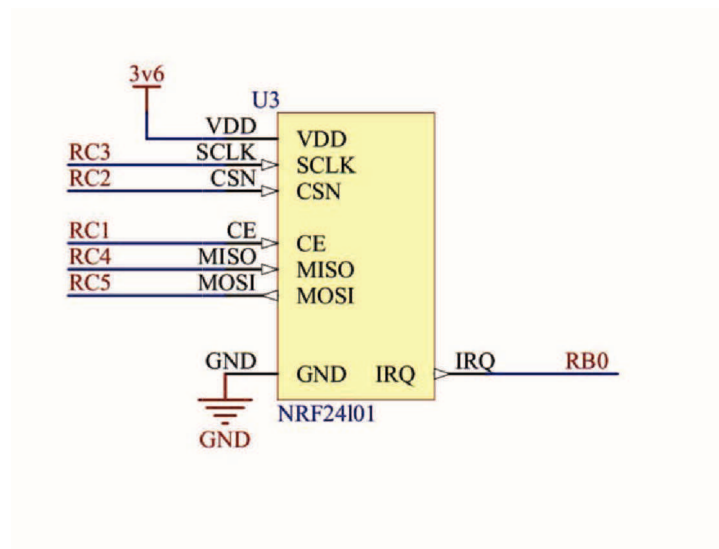


Figura 34: Esquema de ligação do módulo sem fio com o microcontrolador.

5.4.2 Microcontrolador PIC16F877a

O microcontrolador de 8 *bits* do fabricante Microchip, série 16F877a (Figura 35) apresenta encapsulamento DIP e 40 pinos, sendo 35 disponíveis para uso como entradas ou saídas I/O. Possui 8 canais de conversores A/D com resolução de 10 *bits*, 1 módulo SPI, 1 barramento serial multi-mestre e 1 módulo de recepção / transmissão assíncrona universal (UART). Possui também 14 kB de memória Flash e 256 *bytes* de memória EEPROM. Adicionalmente, possui 3 temporizadores internos, sendo 2 de 8 *bits* e 1 de 16 *bits*.

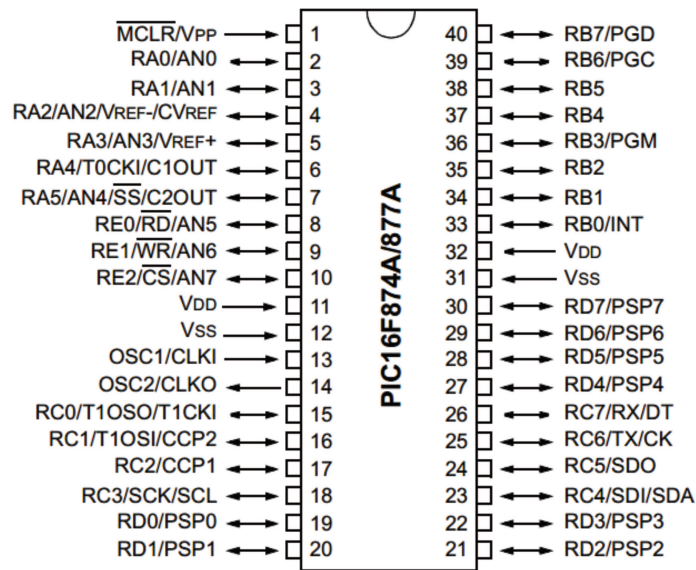


Figura 35: Microcontrolador PIC16F877a (MICROCHIP, 2009).

A escolha deste microcontrolador deve-se às suas características de processamento e quantidade de pinos de I/O, atendendo bem aos requisitos do receptor wireless, que consiste apenas em uma interface entre o módulo da bateria eletrônica e o computador. Optou-se por utilizar este microcontrolador também por conta dos pinos de comunicação UART (pinos 25 e 26) não serem compartilhados com nenhum outro módulo de comunicação do microcontrolador, tal como acontece com o PIC18F4550, onde o pino 26 é compartilhado com o módulo SPI e com o módulo USART do microcontrolador. Desta maneira, não é necessário reconfigurar o pino toda vez que o módulo de comunicação é alterado, como aconteceria se fosse utilizado o PIC18F4550, evitando o possível mal funcionamento do receptor. Na Figura 36 é mostrado o esquema de ligação do microcontrolador.

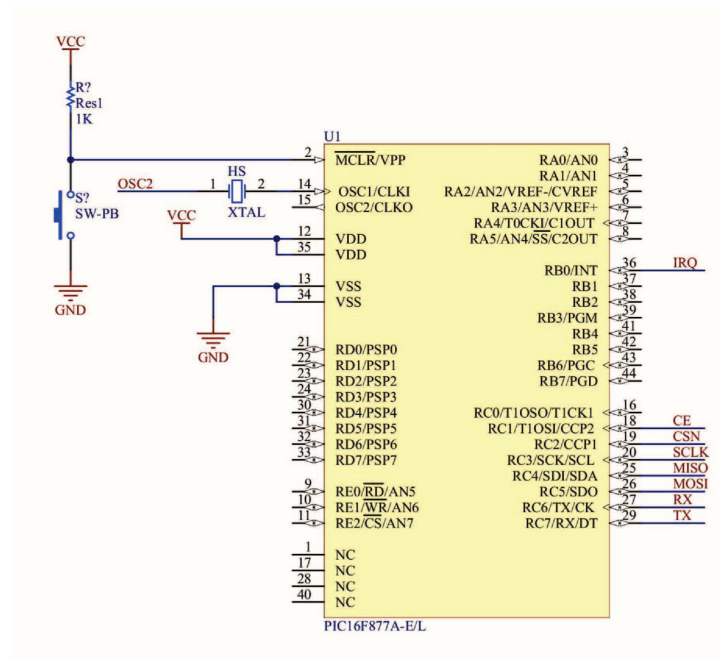


Figura 36: Esquema de ligação do microcontrolador do módulo receptor.

5.4.3 Conversor Serial-USB PL2303

O conversor serial-USB PL2303 da Figura 37 é um chip que realiza a interface serial de comunicação do microcontrolador com o barramento USB do computador. Através dele é possível utilizar a porta USB do computador para a comunicação do microcontrolador emulando uma porta de comunicação serial. Neste projeto utilizou-se um módulo que contém o chip conversor de encapsulamento (SMD)⁴, com os pinos de comunicação compatíveis com a placa ilhada em que o circuito foi desenvolvido.

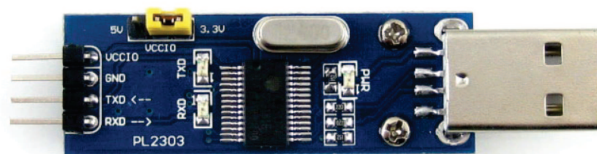


Figura 37: Conversor serial-USB PL2303.

⁴ **Surface-Mount Technology:** Tipo de encapsulamento de um circuito integrado que possui pinos apropriados para fixação através de soldas na superfície das placas de circuito impresso.

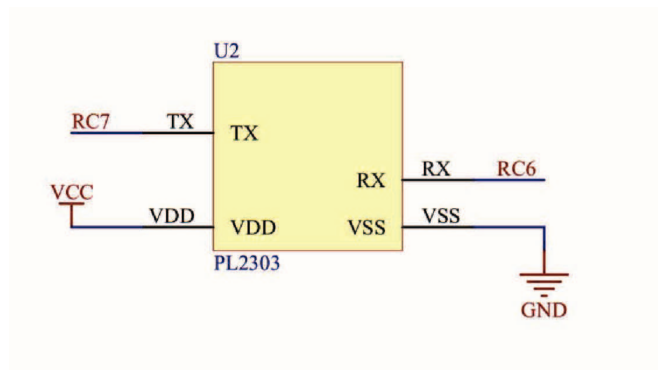


Figura 38: Esquema de ligação do conversor serial-USB do módulo receptor.

Na Figura 39 é mostrado o receptor *wireless* construído. Basta o encaixe em uma porta USB do computador para que o receptor comece a receber os dados, estando obviamente ligado o módulo MIDI da bateria⁵.

Para ter acesso aos dados do receptor, o *software* do computador realiza a abertura da porta de comunicação onde foi conectado o receptor e passa a realizar a análise e execução sonora respectiva às notas recebidas como ativas. O fluxograma deste processo será mostrado na Seção 6.

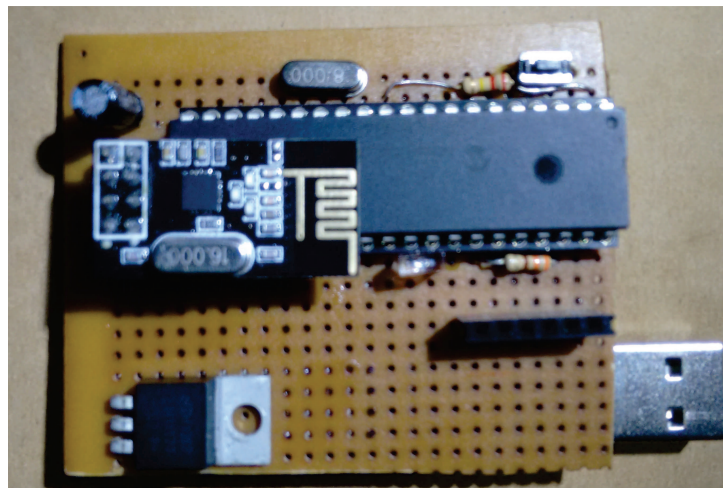


Figura 39: Receptor *wireless*.

⁵É importante lembrar que este circuito integrado necessita da instalação do seu driver no computador, podendo ser baixado diretamente do site do fabricante: www.prolific.com.tw.

5.5 SHIELDS DOS PADS

Em todos os pads foram utilizados sensores piezoelétricos e LEDs para a sinalização. Os aspectos construtivos dos mesmos será mostrado a seguir. Na Figura 40 está a imagem da montagem do sensor para a confecção do pad do prato. Como pode-se notar, foi utilizado uma espuma de Etileno Acetato de Vinila (EVA) onde os sensores foram colados, estando previamente soldados em paralelo. A intenção de se utilizar os dois sensores no pad dos pratos era conseguir um melhor resultado na captação do sinal do sensor em toda a superfície do prato em contato com o EVA.

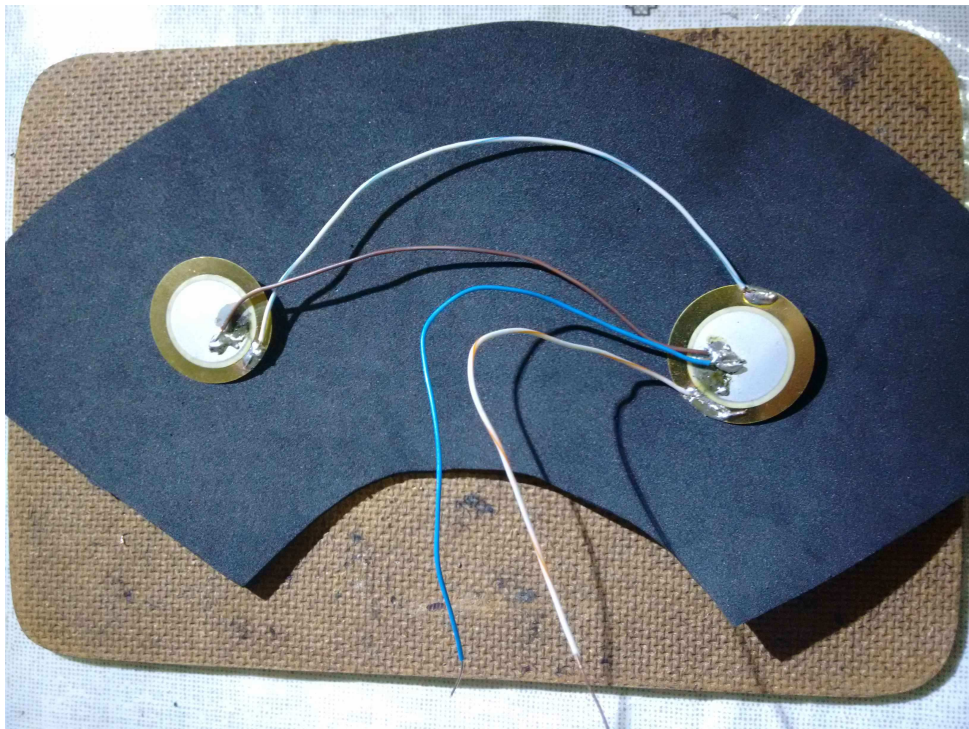


Figura 40: Instalação dos sensores no prato.

Para atenuar vibrações mecânicas indesejadas e assim diminuir leituras errôneas pelo microcontrolador causadas por vibrações mecânicas de frequências mais altas provocadas pelo contato com o plástico, foi colado uma camada de espuma EVA cobrindo cada um dos sensores (ver Figura 41). Com isto conseguiu-se diminuir estes efeitos e assim alcançar uma boa resposta do pad ao ser percutido, conforme é abordado na Seção 7.1.

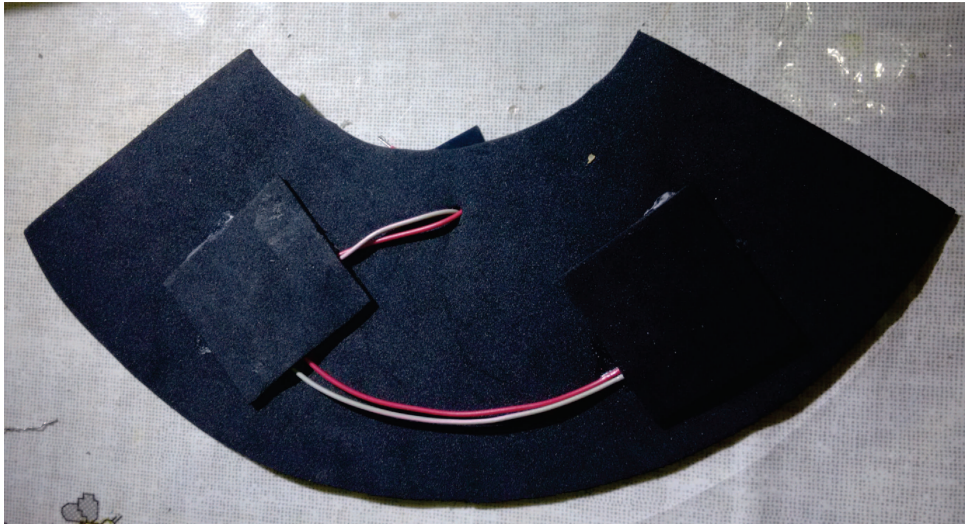


Figura 41: Instalação dos sensores no pad do prato.

Na Figura 42 temos uma imagem que mostra o *shield* construído para o prato. Nele encontramos um conector RJ45 fêmea; resistores de conexão aos LEDs do pad; um diodo zener 5v1 para limitar os picos de tensão gerados pelo sensor, que podem alcançar em torno de 10 V ou mais, o que poderia danificar o circuito integrado do multiplexador ou mesmo do microcontrolador, que trabalham na faixa de 0 a 5 V.

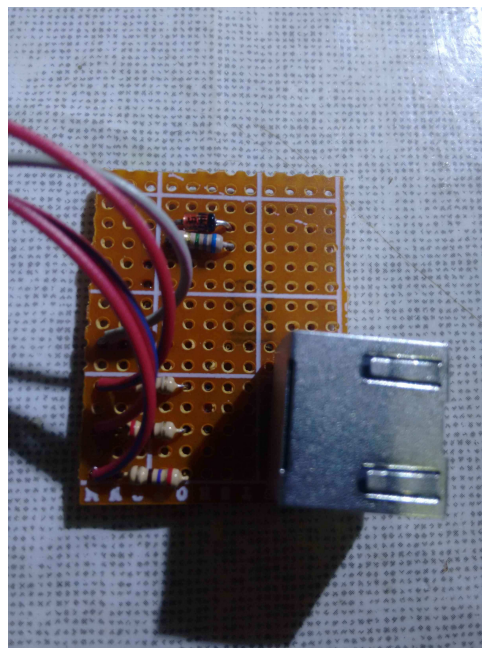


Figura 42: Circuito do pad do prato.

Na Figura 43 está a imagem do *shield* do sensor do pad dos tambores. Neste *shield*, encontramos os mesmos elementos do *shield* dos pratos, com a diferença de estar contido nele também o sensor piezoelétrico. Da mesma forma que nos sensores do prato, o sensor dos tambores foram cobertos com uma camada de espuma EVA. Adicionalmente, para colocar a pele do tambor em contato com o sensor, utilizou-se uma espuma de alta densidade que serve para a transferência da vibração mecânica gerada quando o tambor é percutido.

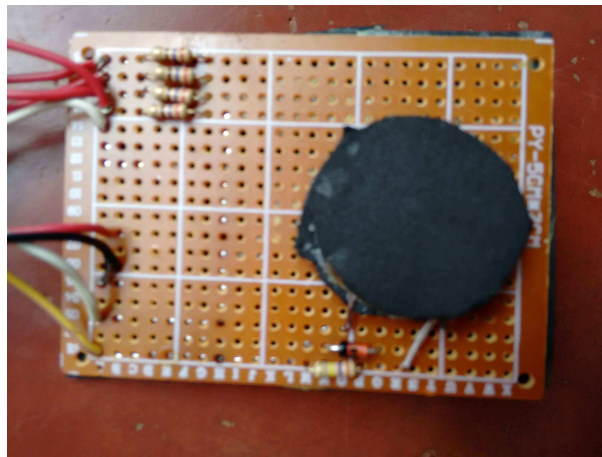


Figura 43: Circuito do pad dos tambores.

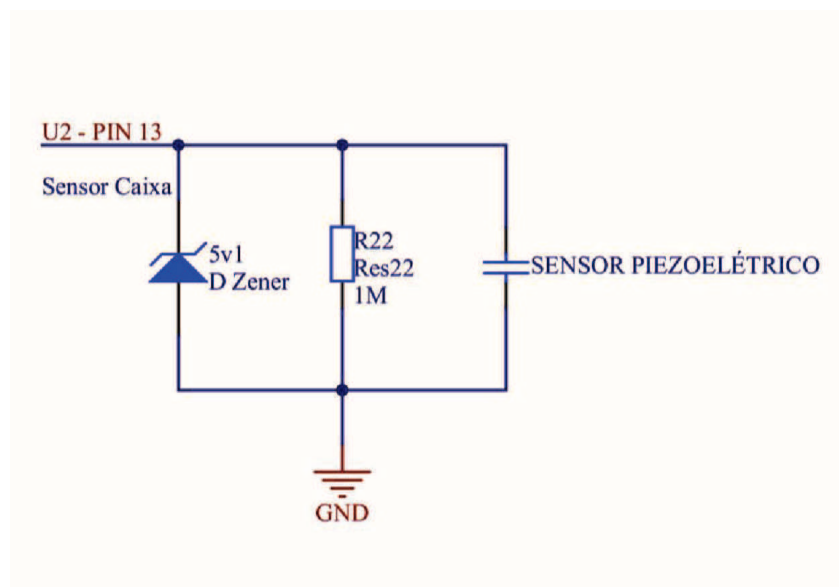


Figura 44: Diagrama de ligação dos sensores piezoelétricos.

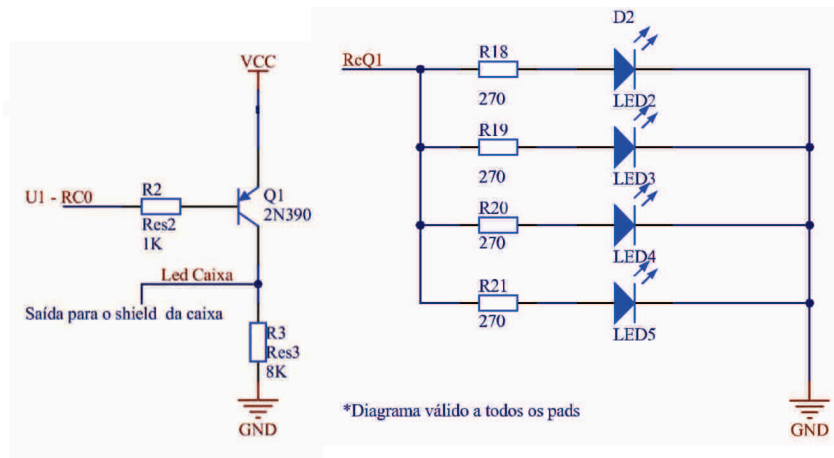


Figura 45: Diagrama de ligação dos LEDs.

Na Figura 44 tem-se o esquema elétrico do circuito do sensor piezoelétrico que será abordado com mais detalhes na Seção 7.1, e na Figura 45 é apresentado o esquema elétrico do circuito dos LEDs dos pads.

Na Figura 46 tem-se a imagem do conjunto: LEDs, *shield* e armação onde são colados os LEDs. Esta armação é colocada por baixo da pele do tambor e fica em contato com o casco do mesmo. Optou-se por utilizar um transistor para acionar os LEDs para assegurar baixa corrente drenada dos pinos do microcontrolador, uma vez que com o transistor a maior parcela da corrente é drenada diretamente da fonte de 5 V. O circuito com LEDs fica instalado no pad, enquanto que o transistor de acionamento é instalado no módulo.

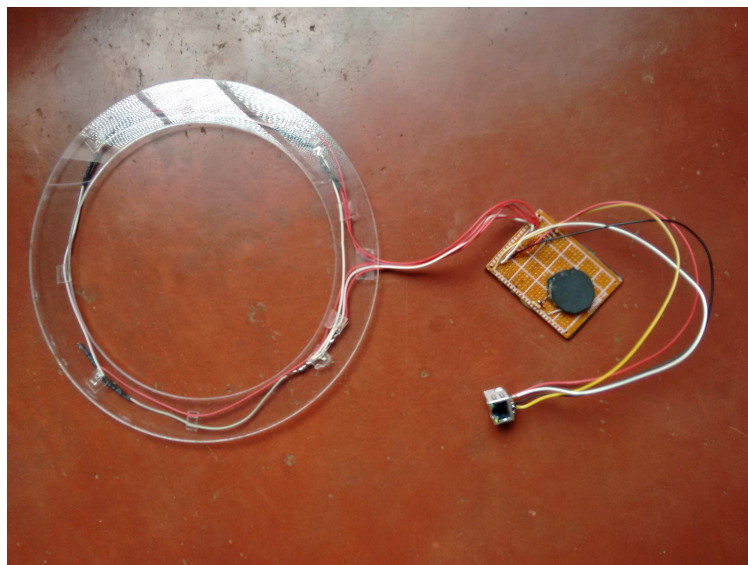


Figura 46: Detalhe do sistema do pad dos tambores.

6 FUNCIONAMENTO DO INSTRUMENTO

Na Figura 47 pode-se visualizar a bateria eletrônica com pads, sensores e o módulo MIDI finalizados. A interligação dos componentes do sistema do módulo MIDI e do receptor *wireless* que é conectado ao computador estão mostrados respectivamente, nas Figuras 51 e 52. No anexo B há maiores detalhes dos aspectos construtivos dos pads e da estrutura física do instrumento.

6.1 O MÓDULO MIDI

Na Figura 48 encontramos as imagens dos menus de navegação do módulo MIDI. O módulo sempre inicializa como controlador (a). Para acessar os outros menus, basta utilizar os botões de navegação “UP” e “DOWN” e após, pressionar “ENTER” para acessar a opção selecionada. O funcionamento dos menus é mostrado no fluxograma da Figura 49.

Quando selecionado como modo “estudo” (b), o módulo passa a decodificar o arquivo MIDI armazenado no cartão SD. Nesta opção, mantendo-se o botão “ENTER” pressionado, podemos acessar um submenu (c) onde é possível alterar a velocidade de execução do decodificador MIDI. Basicamente, quando o botão “UP” é pressionado, um contador é decrementado e assim, este contador é utilizado como fator de multiplicação do PPQ da nota. Desta maneira o valor de duração de todas as notas é dividido pelo valor armazenado no contador, tornando mais rápida a execução do acendimento dos LEDs das notas da música. Do mesmo modo, quando selecionado a opção “DOWN”, um contador é incrementado, aumentando o fator de multiplicação da duração das notas. Por tanto, aumentando-se o valor do PPQ de cada nota a velocidade da execução da música diminui.

Na Figura 50 está um exemplo de como funciona o decodificador MIDI. O módulo MIDI realiza a leitura do cartão SD e a cada três *bytes* analisa as instruções. Caso encontre algum *note on*, o programa atribui os valores das durações das notas lidas e lê os próximos 3 *bytes* até encontrar algum *note off*.

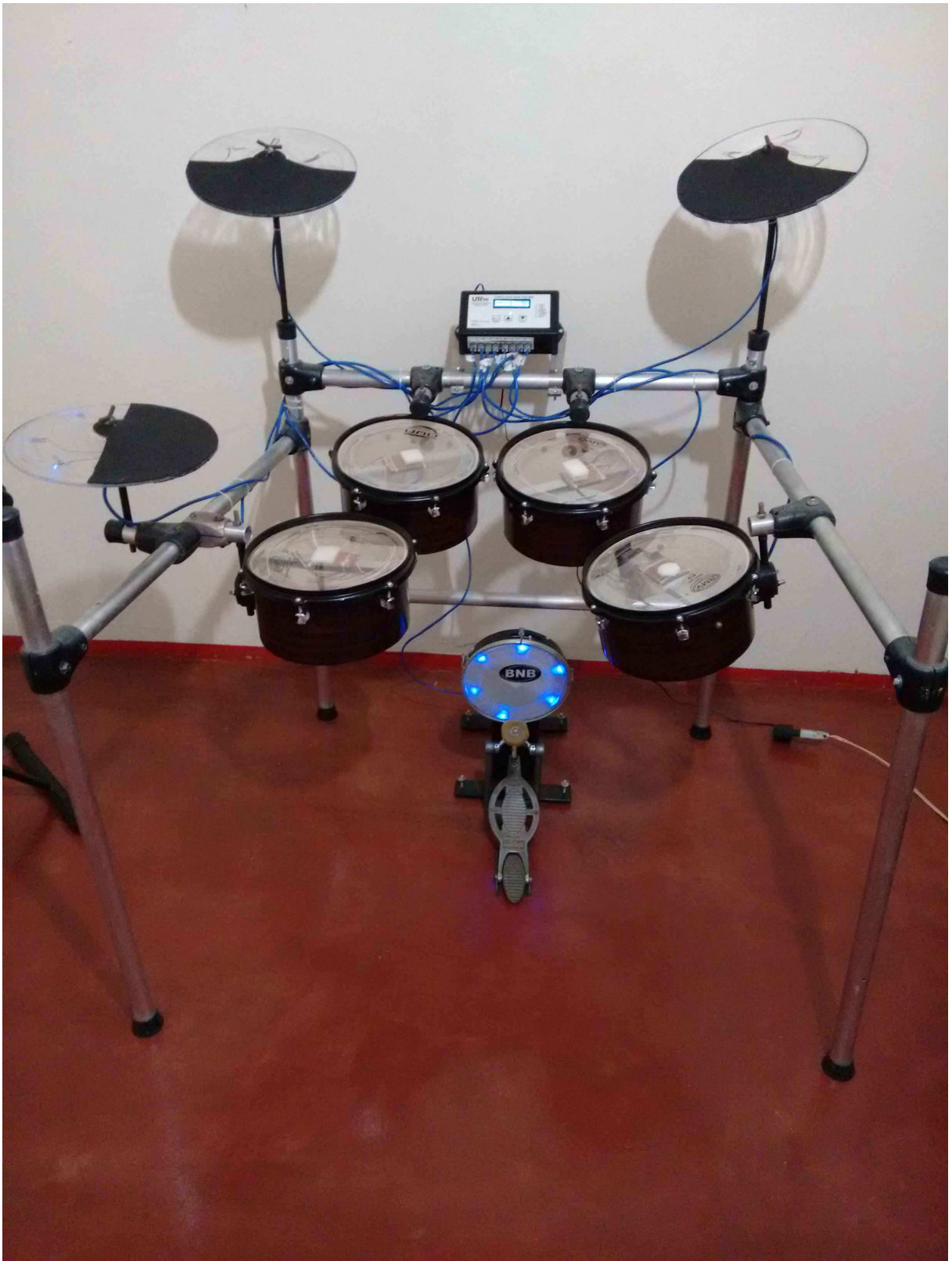


Figura 47: Protótipo da bateria eletrônica com pads e módulo MIDI prontos.

Quando o programa encontra algum *note off*, a leitura dos *bytes* é pausada até que a duração das notas tenham sido completamente decrementadas. No decodificador MIDI, para otimizar a execução do código, optou-se por utilizar apenas um *byte* para o *delta time* para representar a duração da nota. Desta maneira, o valor máximo que a instrução *Pulses Per Quarter-Note* (PPQ) pode assumir é 127, pois o *bit* mais significativo do *Delta-time* sempre é utilizado para sinalizar a existência de um *byte* adicional para representar o PPQ de uma nota.

O funcionamento do módulo MIDI quando utilizado como controlador MIDI, isto é, como instrumento eletrônico é mostrado na Figura 53. Basicamente, o módulo MIDI realiza a leitura dos sensores através de interrupção de tempo, onde utilizou-se o *timer 0* do microcontrolador.

Observou-se que o tempo médio de duração de um sinal gerado pelo sensor piezoelétrico durava em torno de 20 ms. Desta maneira, ajustando-se o tempo de interrupção para 500 μ s, foi possível obter boa precisão na captura dos sinais quando algum pad era percutido. A cada interrupção, um contador de canal é incrementado e o sensor de um novo pad é lido.

Após a amostragem do sinal, o valor lido pelo conversor AD do microcontrolador é salvo em um vetor de dados e em seguida é verificado se há algum valor acima do valor de limiar e assim envia as notas ativas, numa sequência de 8 *bytes*, que correspondem à cada um dos pads do instrumento. A sensibilidade dos sensores foi ajustada pelo código e quando o valor de um sensor ultrapassa o limiar estabelecido, o controlador envia um *byte* sinalizando o pad que estava ativo naquele dado momento. Portanto neste trabalho o código do *software* sintetizador, ao receber um *byte* sinalizando uma nota ativa, executa todas as notas recebidas com uma intensidade fixa. Isto não chega a ser um impecílio na utilização do instrumento porém prejudica a sua dinâmica, uma vez que a bateria é fundamentalmente um instrumento percussivo e por assim dizer, apresenta elementos performáticos importantes para a caracterização dos diferentes ritmos musicais tal como é a diferenciação da execução da intensidade das notas.

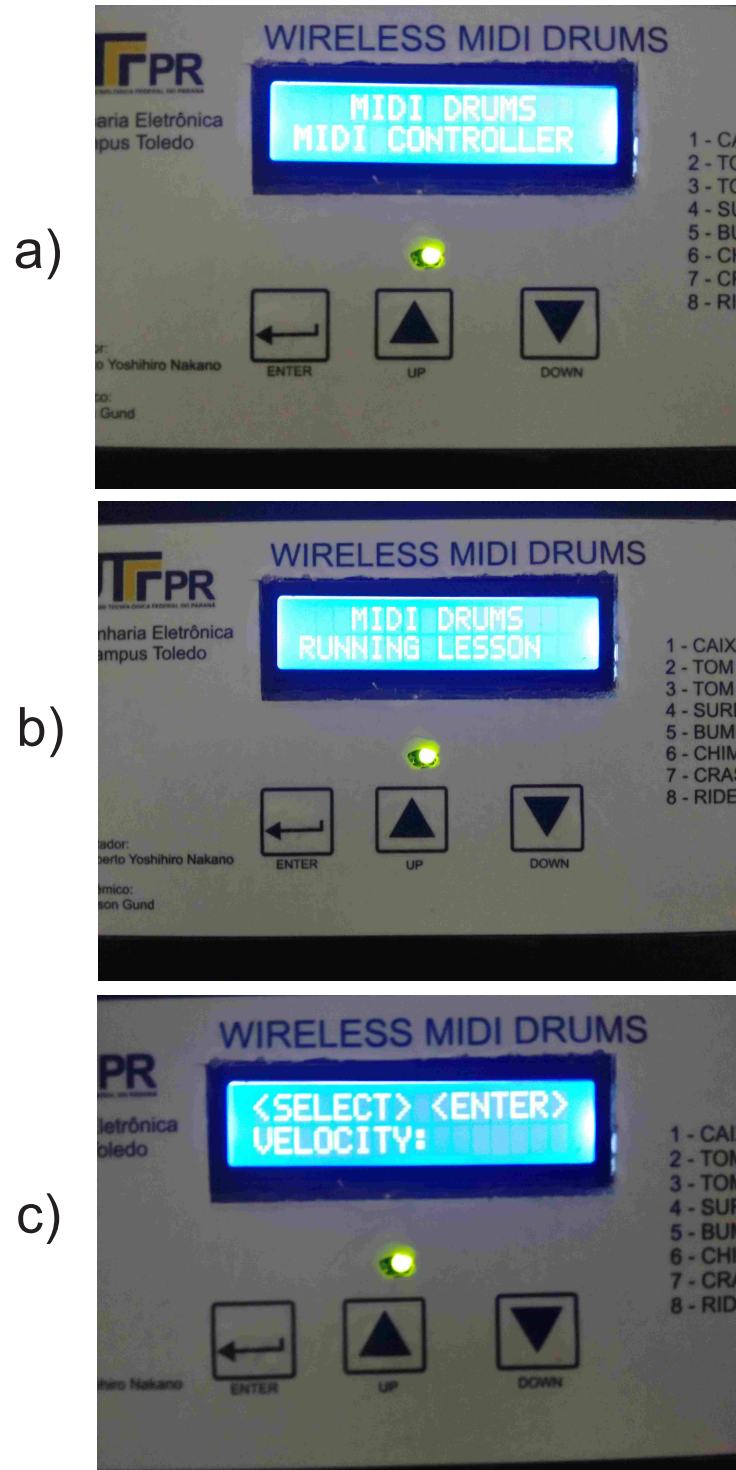


Figura 48: Detalhes dos menus de navegação.

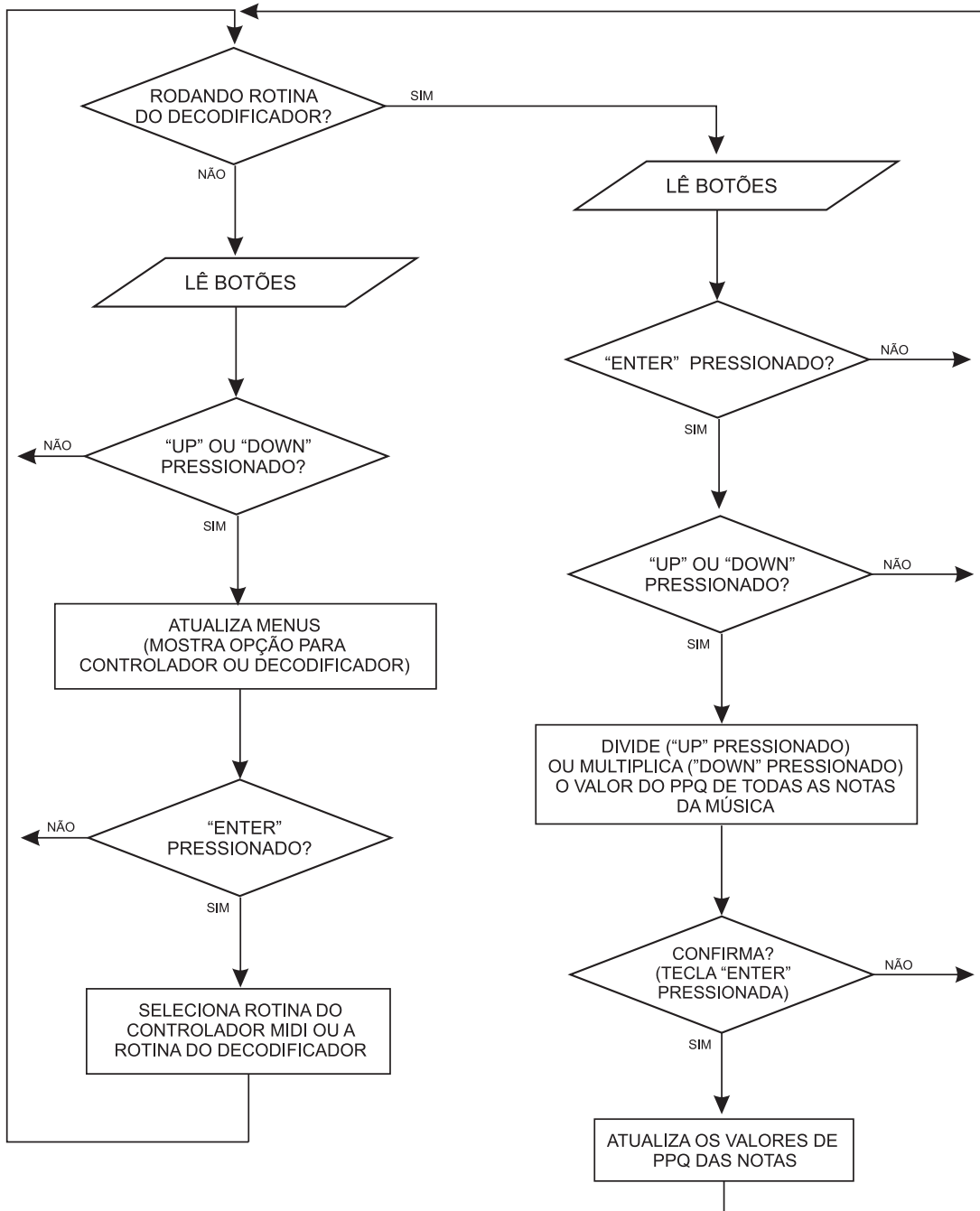


Figura 49: Diagrama de funcionamento dos menus de navegação.

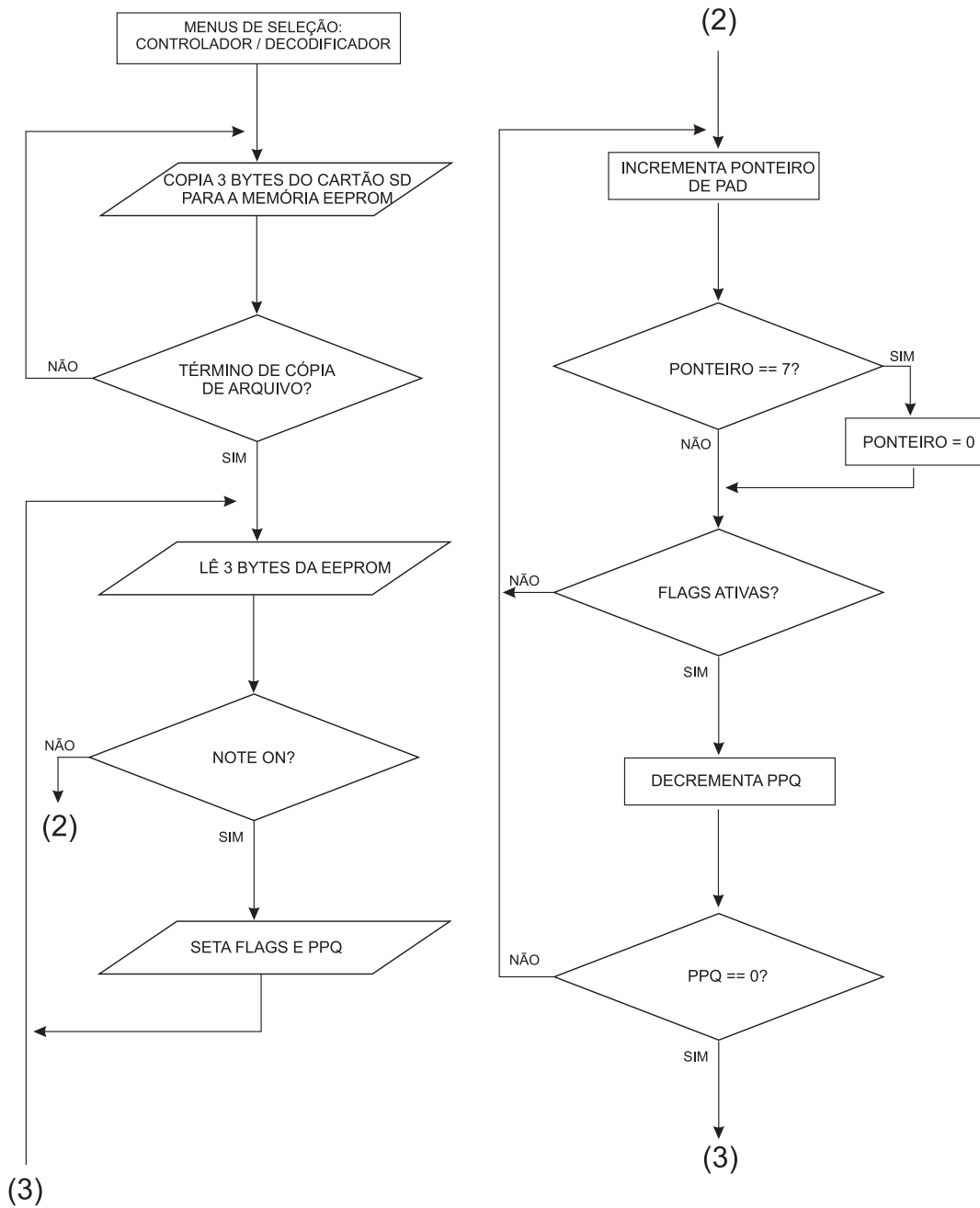


Figura 50: Fluxograma do Decodificador MIDI no instrumento.

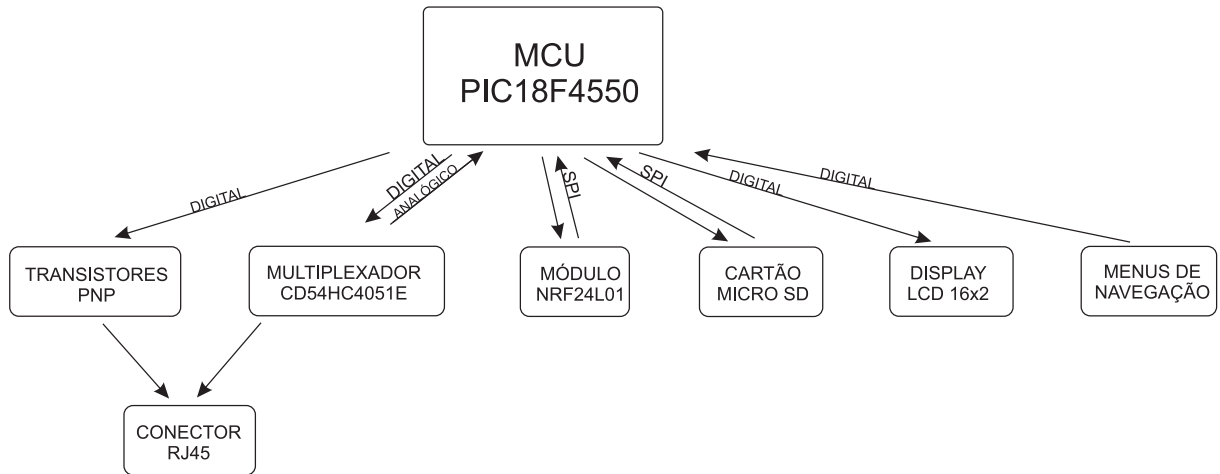


Figura 51: Diagrama de blocos do sistema do Módulo MIDI.

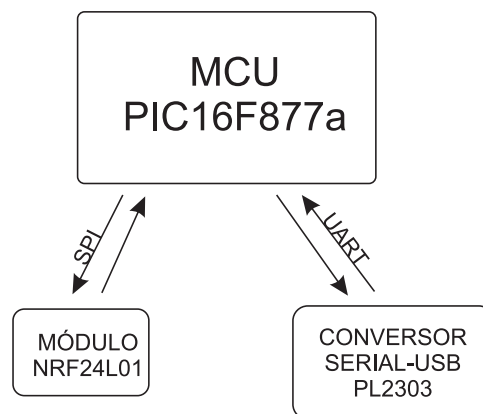


Figura 52: Diagrama de blocos do sistema do receptor sem fio.

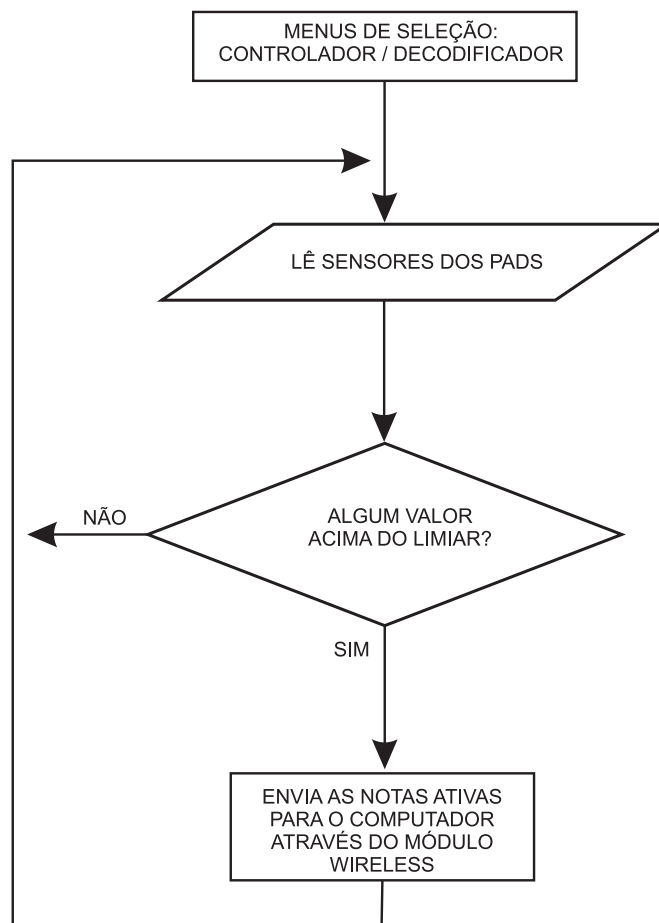


Figura 53: Fluxograma do sistema do Módulo MIDI como controlador MIDI.

6.2 O SOFTWARE SINTETIZADOR

Para a sintetização, foram gravados 8 sons de instrumentos que compõe a bateria desenvolvida, que são eles: caixa; tom 1; tom 2; surdo; bumbo; chimbau fechado; crash e ride. O código do *software* foi desenvolvido na linguagem MatLab, utilizando as funções nativas “wavread()” e “sound()” para executar os sons e as funções “serial()”, “fopen()” e “fclose()” para a comunicação serial.

Na Figura 54 pode-se visualizar a tela de operação do *software*. Ao clicar no botão “conectar”, estando o receptor *wireless* conectado ao computador através da porta serial-USB, seleciona-se a porta de comunicação e assim o programa passa a interpretar as instruções recebidas. No centro da tela do programa, é possível visualizar as instruções recebidas do módulo MIDI. Ao detectar um *byte* sinalizando uma nota ativa, o código executa uma amostra sonora respectiva ao instrumento, como pode-se notar no fluxograma da Figura 55.

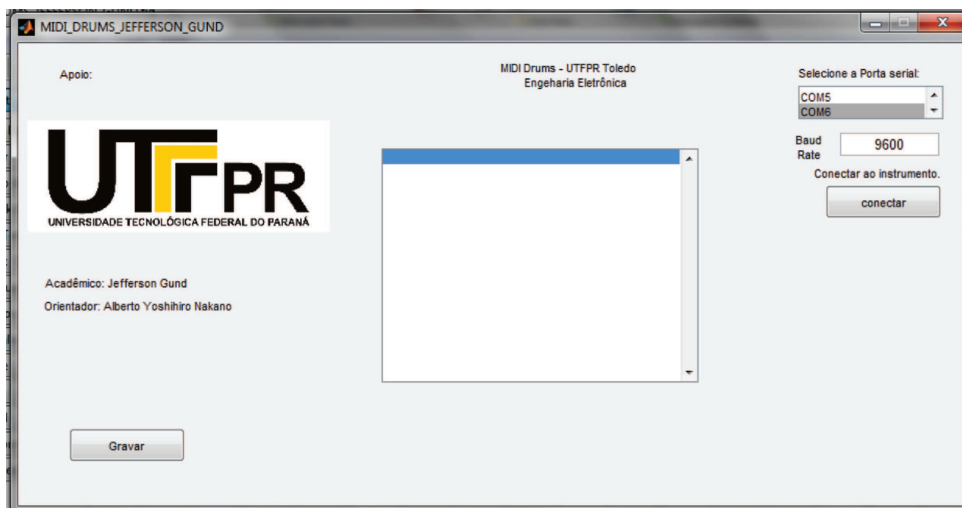


Figura 54: Tela do *software* de sintetização desenvolvido em MatLab.

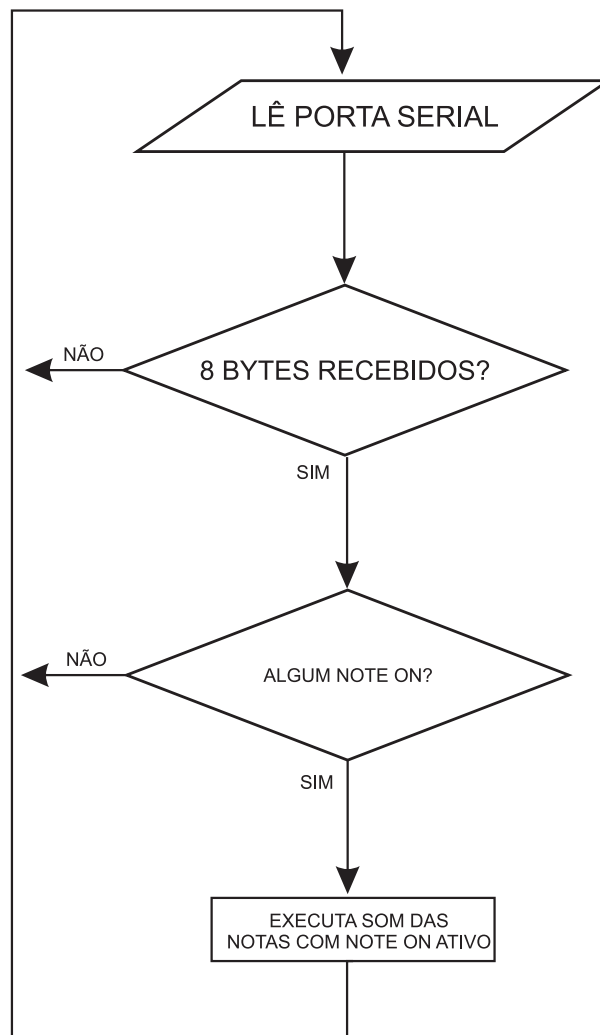


Figura 55: Fluxograma do algoritmo de sintetização desenvolvido em MatLab.

7 RESULTADOS

A seguir, estão algumas considerações sobre o projeto desenvolvido. Serão abordados tópicos sobre a resposta dos sensores, a decodificação do arquivo MIDI, o controlador MIDI desenvolvido bem como as dificuldades encontradas na execução deste projeto.

7.1 ANÁLISE DA RESPOSTA DOS SENSORES

Como pode-se ver na Figura 57, o sinal captado diretamente do sensor piezoelétrico apresenta um pico de tensão que pode chegar a 10 V ou mais, dependendo do impacto mecânico que nele é aplicado. Por conta desta característica, foi necessário limitar a tensão máxima de saída a 5 V, evitando que os circuitos integrados do multiplexador analógico ou do microcontrolador, pudessem eventualmente ser danificados. Na Figura 58 encontramos a resposta de saída do circuito, agora com o circuito limitador de tensão. Na Figura 59 encontramos o sinal do sensor na saída do multiplexador analógico para o microcontrolador, em que nota-se que parte da onda é ceifada verticalmente, por conta da multiplexação de canais. Apesar dos sinais mostrados nas Figuras 57, 58 e 59 não serem originados de uma mesma perturbação mecânica do sensor piezoelétrico, a intenção das imagens é evidenciar o que ocorre em cada um dos estágios, desde a saída do sensor até a entrada do microcontrolador. Desta maneira, o circuito mostrado na Figura 56 funcionou de modo satisfatório e por conta disso, não foi necessário o desenvolvimento de um circuito mais robusto neste projeto. O resistor em paralelo com o piezoelétrico tem a função de dissipar parte do sinal gerado e assim diminuir efeitos indesejados como múltiplas leituras de um mesmo sinal causado por um tempo de assentamento prolongado do sinal gerado pelo sensor piezoelétrico.

Por conta do sinal elétrico gerado por um sensor poder apresentar bastante ruído ou mesmo por conta das ondulações características de um sinal apresentar diversos vales e picos, um microcontrolador pode interpretar erroneamente estes sinais e por conta disso gerar ações de controle errôneas. Este valor limite é ilustrado

na Figura 60. Para assegurar uma boa sensibilidade na resposta dos sensores piezoelétricos, ajustou-se o valor de limiar através do código por tentativas sucessivas até encontrar os valores ideais para cada pad. Com isto conseguiu-se obter boa resposta dos pads e diminuir a detecção de sinais expúrios gerados principalmente pela propagação das vibrações mecânicas através da peça de alumínio que dá sustentação aos *shields* nos tambores e, nos pratos, por vibrações causadas pelo contato direto com a parte plástica do pad. Como foi dito na Seção 5.5, outra solução adotada para contornar estes problemas foi a instalação de espumas de EVA cobrindo o sensor piezoelétrico, o que contribuiu significativamente na redução da detecção de sinais indesejados.

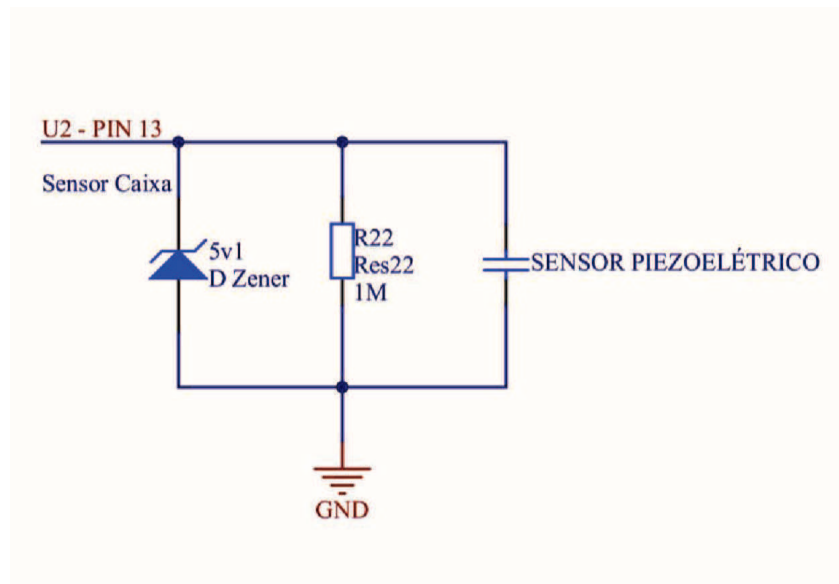


Figura 56: Diagrama de ligação dos sensores piezoelétricos.

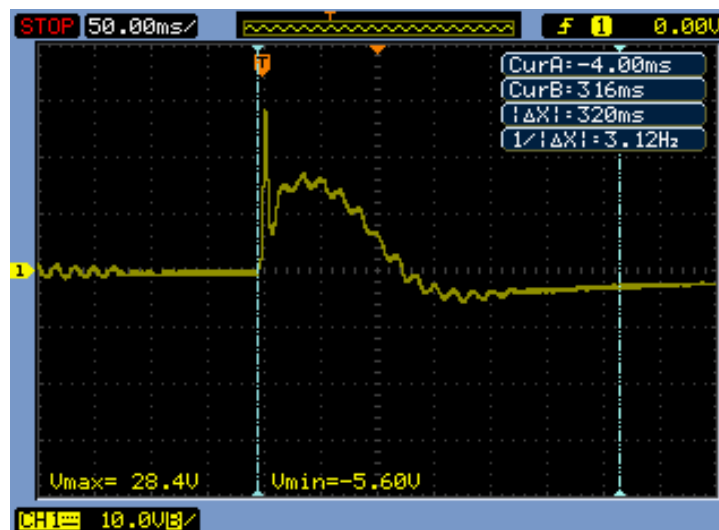


Figura 57: Sinal puro do sensor piezoelétrico.

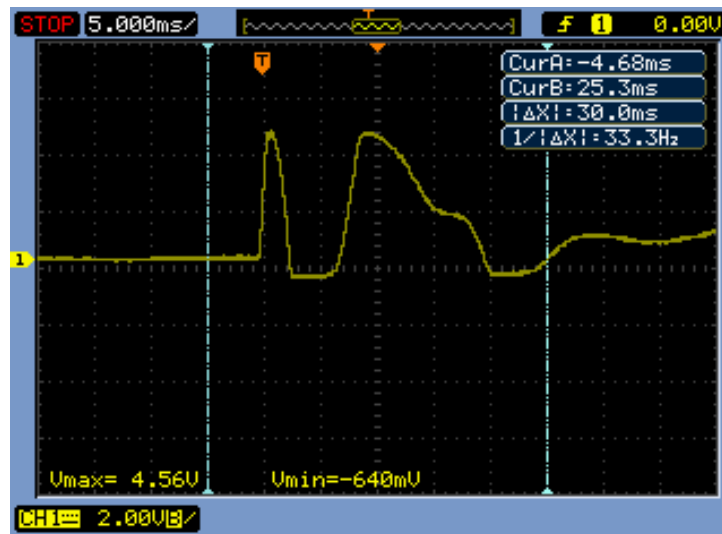


Figura 58: Sinal do sensor na saída do circuito para o multiplexador.

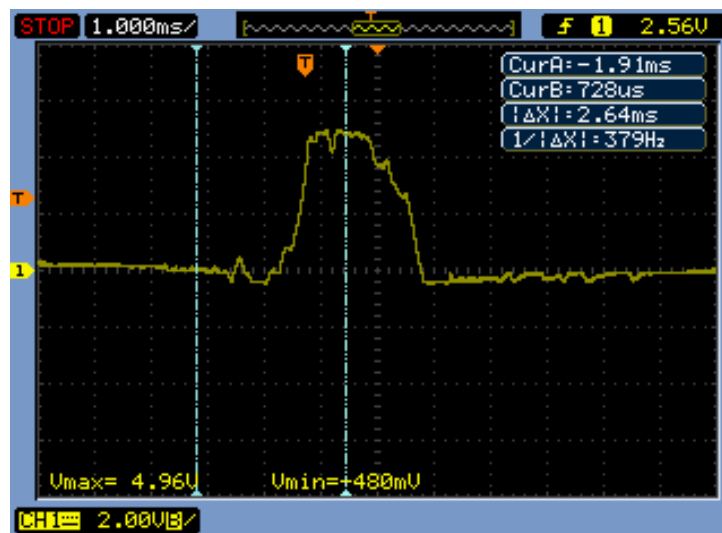


Figura 59: Sinal do sensor na saída do multiplexador para o microcontrolador.

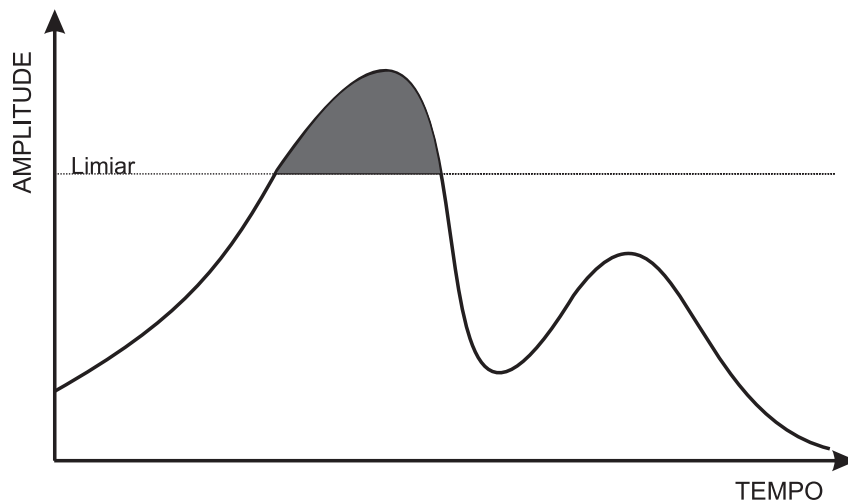


Figura 60: Ilustração do valor de *threshold* de um sinal.

7.2 ANÁLISE DA MÁQUINA MIDI

Na Seção 4.6 é apresentado o funcionamento da máquina MIDI e portanto, nesta Seção serão comentados os resultados obtidos com o decodificador desenvolvido.

Na Figura 62 é mostrado o código MIDI correspondente à partitura da Figura 61. Como pode-se notar nos *bytes* indicados com o quadro negro na Figura 62, cada instrução da partitura escrita no padrão MIDI é composta por 3 *bytes* (*note on* ou *note off*):

1. Nota a ser tocada;
2. Intensidade;
3. Duração.

O *note off* é indicado através dos mesmos itens enumerados acima, com a diferença de que no *note off* valores nulos são atribuídos aos *bytes* “intensidade” e “duração”. Desta forma, observando-se na Figura 62 pode-se observar que a nota respectiva ao chimbal, vista no segundo bloco com código MIDI igual a 0x42 (ver Tabela 3), tem intensidade igual a 0x50 e duração de uma colcheia (ver Tabela 1 e 2). Em seguida, no terceiro bloco, pode-se notar os *bytes* correspondentes ao *note off*, indicando a nota (0x42), a intensidade (0x50) e a duração da nota (0x00). Nos quadros 4 e 5 da Figura 62 estão os próximos *bytes* referentes, respectivamente, ao *note on* e *note off* do chimbal. É importante observar o fato de que o *note off* da primeira nota visto no quadro 1, correspondente ao bumbo, tem o seu *note off* somente ao término das duas notas colcheias referentes ao chimbal, indicado no quadro 6. Como a colcheia apresenta metade do tempo da semínima, o *note off* do bumbo ocorre somente após o término de decretação do *delta time* das notas do chimbal. O quadro 7 indica o início do *note on* da caixa, que tem duração de uma semínima e tem o seu *note off* após o *note off* das duas notas do chimbal, que possuem duração de duas colcheias, tal como ocorre no caso do bumbo.

Durante os testes, a máquina MIDI comportou-se de maneira satisfatória, sem atrasos perceptíveis no acendimento dos LEDs dos pads durante a execução do arquivo MIDI. A velocidade com que os LEDs são acesos pode ser ajustada através dos menus de navegação do instrumento. Na Figura 63 é mostrado uma ilustração da linha do tempo onde pode-se observar as saídas digitais geradas pelo microcontrolador para acender os LEDs das peças da bateria, quando executado o primeiro compasso da partitura da Figura 61.

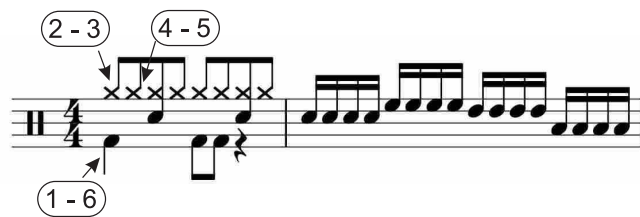


Figura 61: Partitura de um ritmo na bateria.

Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f
00000000	36	50	49	42	50	24	42	00	00	42	50	24	42	00	00	36
00000010	00	00	38	50	49	42	50	24	42	00	00	42	50	24	42	00
00000020	00	38	00	00	36	50	24	42	50	24	42	00	00	36	00	00
00000030	36	50	24	42	50	24	42	00	00	36	00	00	38	50	49	42
00000040	50	24	42	00	00	42	50	24	42	00	00	38	00	00	38	50
00000050	12	38	00	00	38	50	12	38	00	00	38	50	12	38	00	00
00000060	38	50	12	38	00	00	50	50	12	50	00	00	50	50	12	50
00000070	00	00	50	50	12	50	00	00	50	50	12	50	00	00	45	50
00000080	12	45	00	00	45	50	12	45	00	00	45	50	12	45	00	00
00000090	45	50	12	45	00	00	41	50	12	41	00	00	41	50	12	41
000000a0	00	00	41	50	12	41	00	00	41	50	12	41	00	00		

Figura 62: Arquivo MIDI utilizado para testar a máquina MIDI.

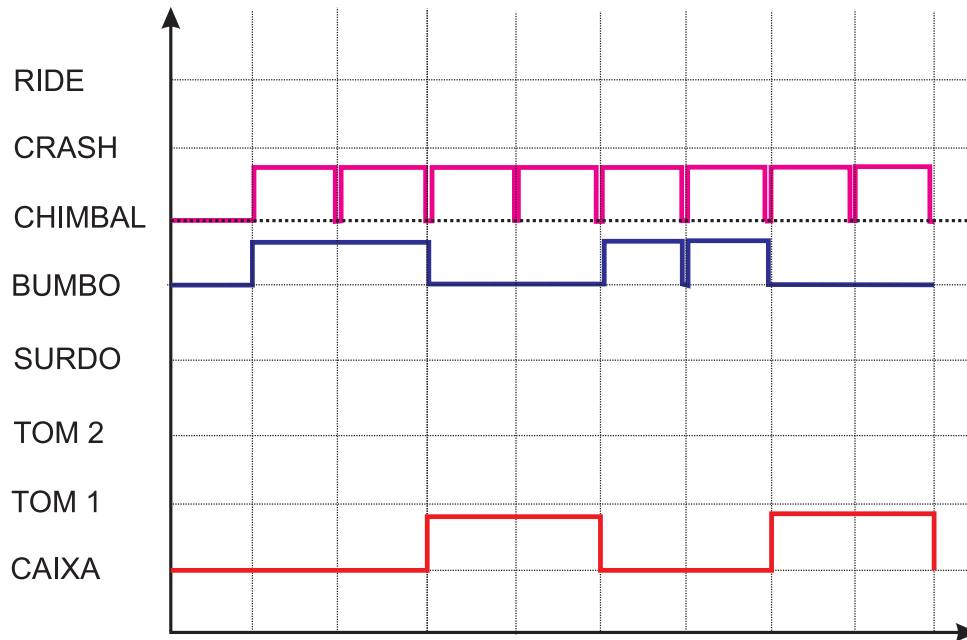


Figura 63: Ilustração do acendimento dos LEDs.

7.3 ANÁLISE DO CONTROLADOR MIDI

Como o período do tempo de interrupção do *timer* 0 do microcontrolador foi setado para $500 \mu s$, há tempo suficiente para o microcontrolador realizar a conversão A/D e registrar os valores nas variáveis. Assim sendo, conseguiu-se realizar a transmissão das mensagens MIDI do módulo para o receptor wireless com taxa de 60 *bytes* por segundo, um resultado satisfatório para as especificações deste trabalho.

7.4 ANÁLISE DO SOFTWARE SINTETIZADOR

O *software* sintetizador desenvolvido na linguagem MatLab apresentou um comportamento aceitável, porém não ideal por conta de travamentos apresentados durante a execução das amostras sonoras dos tambores e pratos.

Um dos problemas comuns na comunicação entre controladores MIDI e sintetizadores baseados em *softwares* para computadores é a latência, que consiste no atraso entre o envio das mensagens MIDI e a sintetização dos sons. Neste trabalho, a latência não foi significativa para os propósitos do projeto por conta das simplificações realizadas no protocolo MIDI.

Muitas aplicações de processamento e sintetização de áudio são desenvolvidas em linguagens como Java e C++ por conta da robustez das linguagens e por possuírem licença de utilização livre. Assim sendo, para futuras aplicações, seria interessante desenvolver um *software* sintetizador mais robusto utilizando alguma destas linguagens de programação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste protótipo de instrumento MIDI, espera-se que o estudante de música consiga entender mais facilmente a teoria musical e aplicá-la no instrumento.

É importante ressaltar que a intenção deste trabalho não foi a de desenvolver um *software* sintetizador robusto, mas sim, desenvolver o módulo MIDI, pois isto demandaria um estudo de algoritmos e programação avançados e, portanto, não foi executado neste trabalho.

Para realizar os testes no módulo com o acendimento dos LEDs, foram desenvolvidos arquivos MIDI editados com o auxílio de um computador, permitindo que o algoritmo decodificador de arquivos MIDI do módulo da bateria fosse validado. Algumas simplificações como a diminuição do tamanho do *byte* do *Delta-time*, que corresponde às informações respectivas a duração das notas foram necessárias visando reduzir o tempo gasto no desenvolvimento do *firmware* deste projeto e também otimizar o tempo de processamento das informações pelo microcontrolador, sem as quais tornaria o sistema mais lento, e o sincronismo do acendimento dos LEDs nos pads poderia ser prejudicado. Apesar destas limitações, foi possível implementar um algoritmo de decodificação de arquivos MIDI e do controlador MIDI que se mostraram bastante satisfatórios para os objetivos propostos neste trabalho, ou seja, desenvolver um instrumento musical de baixo custo e destinado ao aprendizado do instrumento com foco no desenvolvimento da habilidade de percepção da relação partitura-instrumento.

Para projetos futuros, algumas sugestões a serem consideradas são:

- Utilização de um microcontrolador de melhor capacidade de processamento;
- Melhorar o algoritmo de tradução da leitura dos sensores para o protocolo MIDI;
- Criar um circuito que possibilite o ajuste de ganho individual de cada pad, para ajuste de sensibilidade;
- Desenvolver o *software* em uma linguagem de programação de código aberto que possibilite a sintetização dos sons com maior robustez.

REFERÊNCIAS

- ARROYO, Margarete. Educação musical na contemporaneidade. **Anais do II Seminário Nacional de Pesquisa em Música da UFG**, p. 12, Dez. 2006.
- COSTA, Marcelo. Trabalho de conclusão de curso. **Escola Politécnica de Pernambuco - Departamento de Engenharia de Computação**, 2006.
- FONSECA, Karyne C. da; BARBOSA, Maria A.; SILVA, Daniela G.; FONSECA, Keylla V. da; SIQUEIRA, Karina M.; SOUZA, Marcus A. de. Credibilidade e efeitos da música como modalidade terapêutica em saúde. **Revista Eletrônica de Enfermagem - Universidade Federal de Goiás**, p. 8, Dez. 2006.
- FRANÇA, Cecília C. Engajando-se na conversação: Considerações sobre a técnica e a compreensão musical. **Revista da Associação Brasileira de Educação Musical**, p. 5, Set. 2001.
- HUBER, David M. **The MIDI Manual: A Practical Guide to MIDI in the Project Studio**. 3. ed. Burlington, Estados Unidos: Elsevier, 2007. 379 p.
- MACHADO, André C. Conceitos de notação musical. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia**, 2001.
- MACHADO, André C. Tradutor de arquivos midi para texto utilizando linguagem funcional clean. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia**, 2012.
- MICROCHIP. **28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology**. 2009.
- MILETTO, E.; COSTALONGA, L.; FLORES, L.; FRITSCH, E.; PIMENTA, M.; VICARI, R. Introdução à computação musical. **CBComp - IV Congresso Brasileiro de Computação**, p. 20, 2004.
- NORDIC, Nordic Semiconductor. **Ultra low power 2.4GHz RF Transceiver IC**. 2008.
- OKI, Nobuo; MANTOVANI, Suely C. A. Projeto de robôs móveis. **Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Departamento de Engenharia Elétrica**, p. 18, 2013.
- RODRIGUEZ, Carmen A. M.; ROSIN, Sheila M. A importância do ensino de música para o desenvolvimento infantil. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Pedagogia) Universidade Estadual de Maringá, Cianorte**, p. 22, 2011.
- SHACKELFORD, James F. **Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros**. 6. ed. São Paulo, Brasil: Pearson Prentice Hall. Tradução: Daniel Vieira; Revisão técnica: Nilson C. Cruz., 2008.

SILVEIRA, Aline. Música e educação: Algumas reflexões. **Projeto de Extensão: Música e Educação da Universidade Federal do Ceará**, p. 8, Jan. 2010.

TI, Texas Instruments. **High-Speed CMOS Logic Analog Multiplexers/Demultiplexers**. 2004.

VIGINOSKI, Cibele L. F. Sistema utilizando vibração de um transdutor piezoelétrico para medir densidade de um líquido. **Programa de Pós graduação em Engenharia Elétrica na Área de Sistema Eletrônico da Universidade Federal do Paraná**, p. 81, 2013.

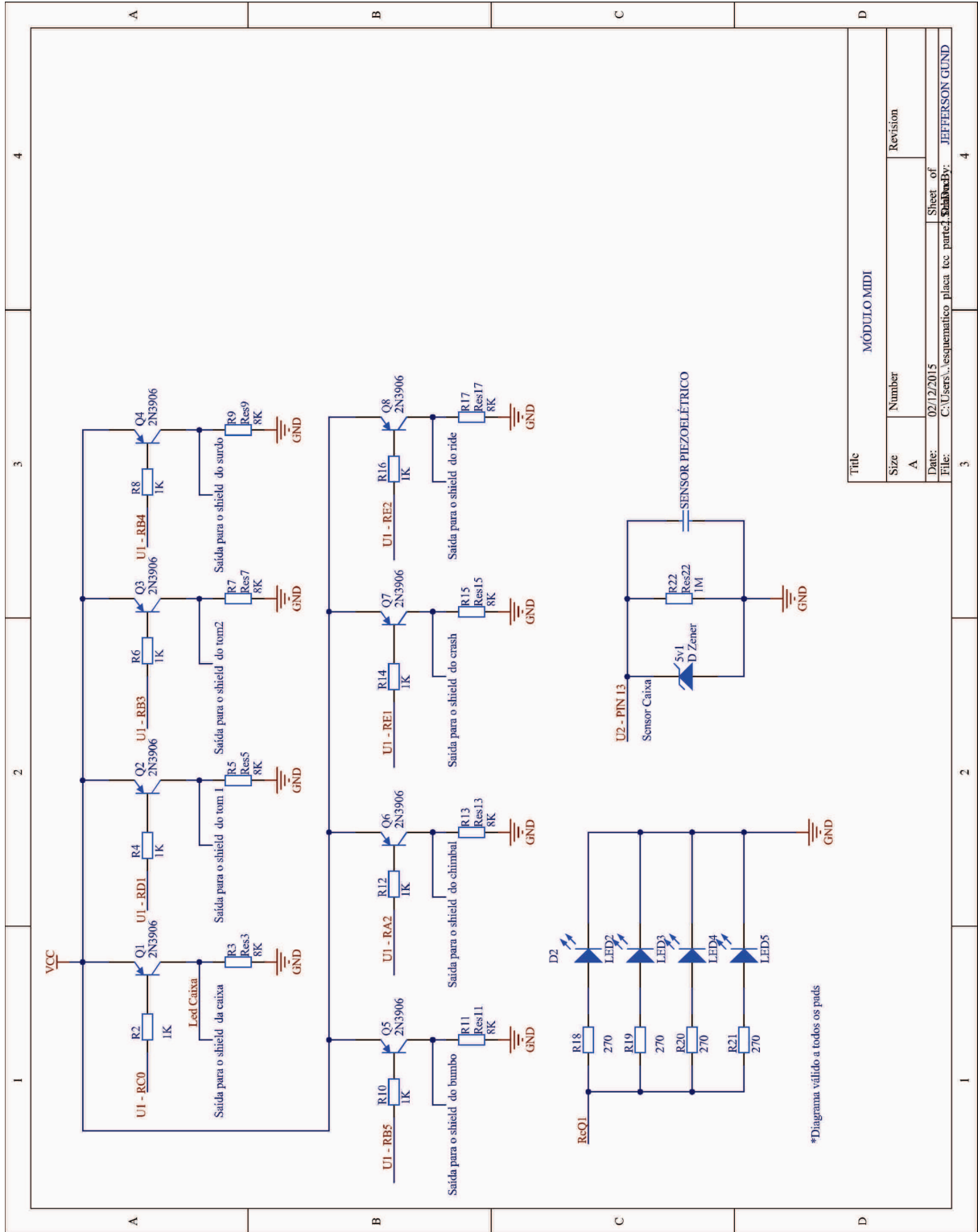


Figura 65: Esquemático módulo MIDI, parte 2.

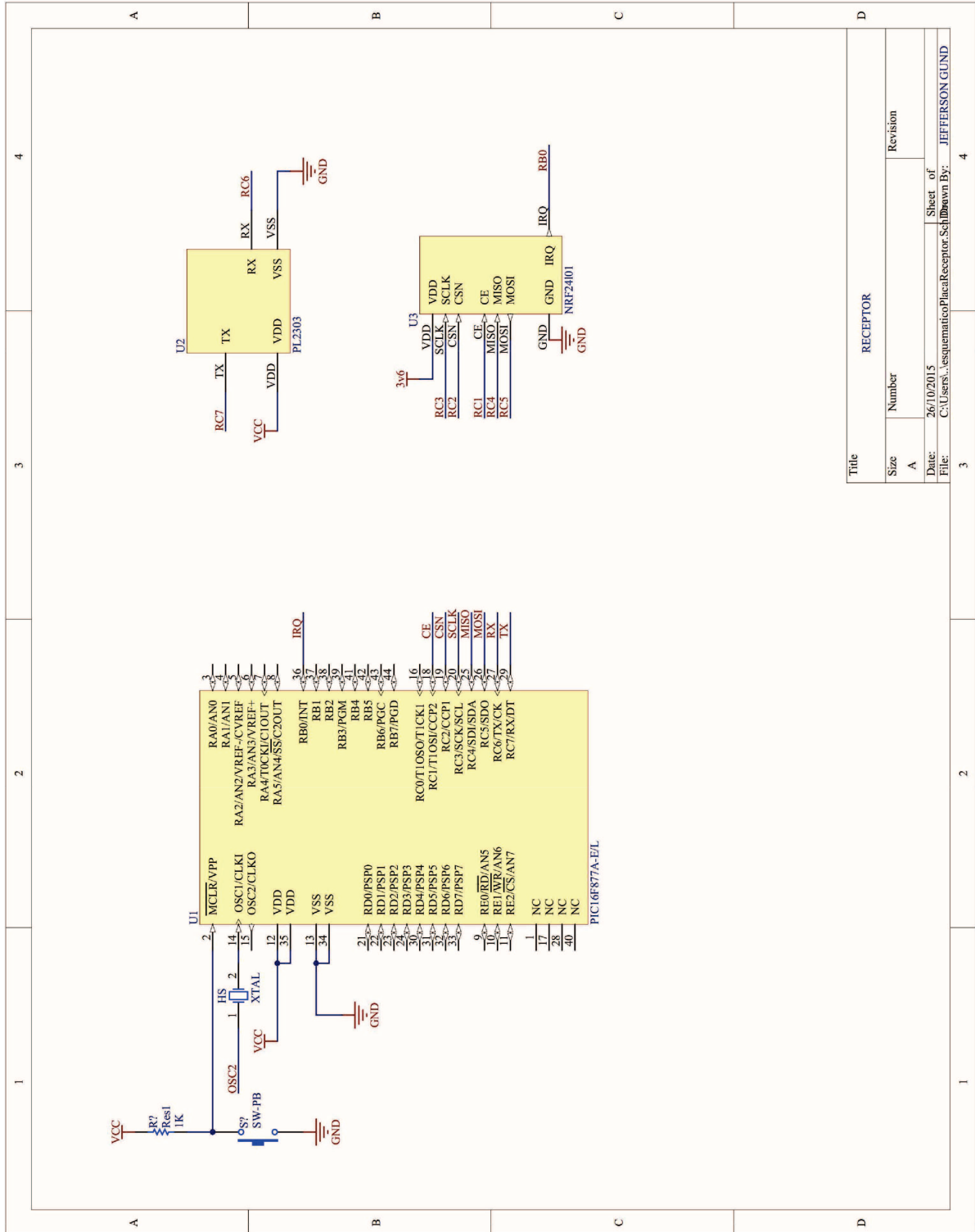


Figura 66: Circuito do receptor wireless.

ANEXO B - FOTOS



Figura 67: Foto dos pads com os LEDs acesos.



Figura 68: Detalhes do pad do bumbo.

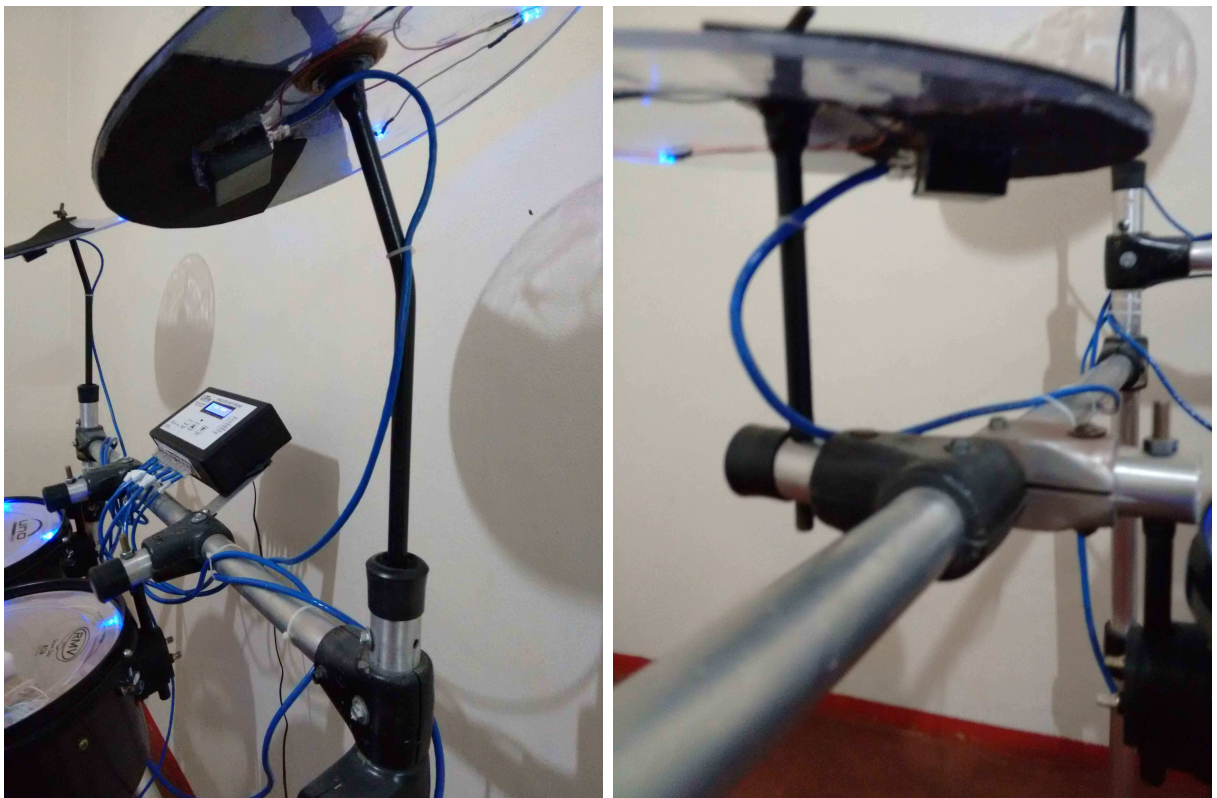


Figura 69: Detalhes dos suportes dos pratos.



Figura 70: Detalhes dos suportes dos tambores.