

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME SOARES NOMINATO

ÓRGÃO MUSICAL ELETROMECAÂNICO: UMA PROPOSTA DE PROJETO

SÃO CARLOS - SP
2021

GUILHERME SOARES NOMINATO

ÓRGÃO MUSICAL ELETROMECAÂNICO: UMA PROPOSTA DE PROJETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de São Carlos, para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Eletrônica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco

Coorientador: Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani

SÃO CARLOS - SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Folha de aprovação

Membros da banca examinadora que avaliaram e aprovaram o Trabalho de Conclusão de Curso do aluno Guilherme Soares Nominato em 22/01/2021.

São Carlos, 22 de janeiro de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco

Instituição: UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani

Instituição: UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. José Carlos Pizolato

Instituição: UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Celso Aparecido De França

Instituição: UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

AGRADECIMENTOS

Para mim, este TCC é muito mais que uma atividade para a conclusão do curso. Ele é o encerramento de um ciclo de quase 25 anos de vida. Em cada página desta monografia há um pouco de mim: meus sonhos, meu conhecimento e até minhas ansiedades, mas também há um pouco de cada pessoa que passou na minha vida e que sou eternamente grato.

Agradeço ao universo, por seus mistérios que nos motiva, sua natureza que nos acolhe, pela liberdade que nos é concedida e por ser nosso lar independente das nossas convicções.

Agradeço a minha família; meu pai Henrique, minha mãe Edna e minha irmã Beatriz. Vocês foram minha estrutura neste ciclo, meu farol em cada dia que a escuridão parecia prevalecer. Obrigado por acreditarem nos meus sonhos, pela educação fornecida e por todos os instantes vividos. Devo minha existência a vocês. Aos demais familiares, agradeço pela oportunidade da convivência e por também serem fonte de aprendizado e acolhimento.

A todos os meus amigos e minhas amigas, fica o meu agradecimento por serem seres tão especiais e presentes na minha vida. Ao pessoal do "Zezão", obrigado por estes 10 anos de muitas experiências, risadas e lágrimas e por diariamente não me deixarem esquecer o quão sortudo sou por ter vocês. Vocês foram um grande incentivo para estar nesta universidade. Meus amigos e parceiros da "Sonzera Livre", da "Bateria UFSCar" e do "Apêtitista": obrigado por estarem juntos comigo em momentos tão marcantes. Nós chegamos a lugares que talvez não imaginávamos e isso só foi possível graças a nossa amizade e companheirismo.

Fica o meu eterno agradecimento também a todos os meus professores, orientadores e mestres com que tive o privilégio de aprender e ser guiado durante todo esse percurso. Em especial quero registrar meu agradecimento ao eterno Prof. Danival Roberto Alves por me acolher e acreditar em mim em um momento importante da minha vida, todos os meus professores de música que tanto me ensinaram e meus orientadores: professores Carlos e Fabrício, que confiaram e me auxiliaram na montagem e desenvolvimento deste TCC. Serei eternamente grato a todos vocês!

Por último um agradecimento a uma pessoa que tenho uma enorme dívida de gratidão: ao Guilherme do passado, que não desistiu de buscar sua felicidade, que não abandonou a música e que fez dela uma parceira para sempre. A música é, coincidentemente, o elo entre todos os mencionados anteriormente e creio que não há Guilherme sem ela. Por estes motivos, não há razão para que o trabalho que encerra esta grande jornada não tenha relação com as duas temáticas mais importantes neste quase um quarto de século: engenharia e música.

Per Ardua Ad Astra

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso consiste na elaboração de uma proposta de construção de um instrumento musical, cuja estrutura básica se assemelha ao órgão Hammond somado a algumas propostas de inovação tecnológica. O órgão Hammond é instrumento criado nos anos de 1930, de grande importância para a música e para a engenharia por trazer a possibilidade de criar inúmeras possibilidades de sons graças à combinação de diversos elementos eletromecânicos. O trabalho divide-se em um eixo histórico, com objetivo de introduzir o instrumento e seu inventor e contextualizá-lo no universo da música e um eixo de engenharia, abordando a teoria por trás da geração do som, o funcionamento das diversas partes e as diferentes ferramentas para o desenvolvimento de um protótipo. O objetivo é alcançado uma vez que o projeto proposto encontra sustentação nos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação e apresenta um conjunto de informações suficientes para que este trabalho de conclusão de curso seja uma base para uma posterior implementação.

Palavras-chave: órgão Hammond, dispositivo eletromecânico, música, engenharia, modelo, proposta.

ABSTRACT

This final paper consists of the elaboration of a proposal for the construction of a musical instrument, whose basic structure is similar to the Hammond organ added to some proposals for technological innovation. The Hammond organ is an instrument created in the 1930s, of great importance for music and engineering as it brings the possibility of creating countless possibilities of sounds thanks to the combination of several electromechanical elements. The work is divided into a historical axis, with the objective of introducing the instrument and its inventor and contextualizing it in the world of music and an engineering axis, addressing the theory behind the generation of sound, the functioning of the different parts and the different tools for developing a prototype. The objective is achieved once the proposed project finds support in the knowledge acquired during the undergraduate course and presents a set of information sufficient for this final paper to be a basis for a subsequent implementation.

Keywords: Hammond organ, electromechanical device, music, engineering, model, proposal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Telharmonium.....	14
Figura 2 — Laurens Hammond e o primeiro modelo da sua criação	15
Figura 3 — Órgão Hammond modelo B3.....	16
Figura 4 — Vista lateral de uma bobina de captação de uma guitarra elétrica.	20
Figura 5 — Modelo simplificado de um Tonewheel contendo 2 geradores: um com 12 lóbulos (dir.) e outro com 8 lóbulos (esq.)	21
Figura 6 — Diagrama esquemático do órgão.....	23
Figura 7 — Diagrama esquemático do órgão.....	24
Figura 8 — Diagrama de blocos padrão do Hammond	26
Figura 9 — Diagrama dos blocos propostos	29
Figura 10 — Diagrama de blocos para o caminho pelo qual o sinal de áudio percorre para o cenário de um gerador de tom	29
Figura 11 — Diagrama de blocos do sistema elétrico do bloco 1	31
Figura 12 — Diagrama de blocos do sistema mecânico do bloco 1.....	32
Figura 13 — Esquema de disposição das polias: motora, movidas e auxiliares	34
Figura 14 — Desenho tridimensional do trem de polias.....	35
Figura 15 — Esboço do conjunto de linhas que formam a correia	35
Figura 16 — Representação esquemática do sistema de acionamento do Hammond.....	37
Figura 17 — Modelo esquemático do sistema de acionamento	38
Figura 18 — Pinagem do CD4066	39
Figura 19 — Circuito elétrico para acionamento de uma tecla	40
Figura 20 — Representação esquemática de ligação do acionamento da tecla C2 no CI	41
Figura 21 — Exemplo de posicionamento entre tecla e botão.....	42
Figura 22— Filtro passa-faixa ativo de primeira ordem.....	44
Figura 23 — Modelo matemático da roda fônica de dezesseis lóbulos.....	47
Figura 24 — Modelo mecânico da roda fônica de dezesseis lóbulos	48
Figura 25 — Representação esquemática de um gerador de tons com 5 sinais saídas.....	49
Figura 26 — Roda fônica de 16 lóbulos presa ao eixo linear	49
Figura 27 — Conjunto de roda fônica e captador em um modelo de gerador de tons	50
Figura 28 — Resultados da medição da prova de conceito do gerador de tom	51
Figura 29 — Transformada de Fourier para sinal de 330 Hz gerado pelo modelo construído	51
Figura 30 — Amplificador somador genérico.....	55

Figura 31 — Diagrama de blocos para o sistema de drawbars (1 tecla).....	56
Figura 32 — Representação esquemática da conexão entre as saídas de um gerador de tom e os CIs CD4066.....	56
Figura 33 — Representação esquemática de uma drawbar.....	57
Figura 34 — Diagrama de blocos do bloco 5.....	60
Figura 35 — Exemplo de perfis de alumínio	62
Figura 36 — Estrutura externa em 3D - base.....	63
Figura 37 — Estrutura externa em 3D - base mais as barras de apoio dos captadores	63
Figura 38 — Estrutura externa em 3D - completa.....	64
Figura 39 — Montagem de integração entre a carcaça, a polia movida (com aba) e o eixo retificado utilizando mancal com rolamento	65
Figura 40 — Disposição de dois conjuntos de eixo, mancal e polia movida.....	65
Figura 41 — Pé de nivelamento	66
Figura 42 — Proposta de montagem da estrutura de suporte dos captadores.....	67
Figura 43 — Representação esquemática de ligação do acionamento da tecla C2 no CI	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Dados de dimensionamento da correia	36
Tabela 2 — Lista de componentes - acionamento.....	41
Tabela 3 — Dados de projeto - captador	50
Tabela 4 — Conjunto de harmônicos de cada tecla (1ª oitava física)	58
Tabela 5 — Conjunto de harmônicos de cada tecla (2ª oitava física)	58
Tabela 6 — Tabela de componentes para desenvolvimento futuro.....	59
Tabela 7 — Componentes necessários para posterior montagem do bloco 5.....	61
Tabela 8 — Componentes necessários para a montagem da estrutura	67
Tabela 9 — Medidas para cálculo do comprimento da correia.....	74
Tabela 10 — Dados referente às polias movidas.....	75
Tabela 11 — Tabela dos diâmetros internos das polias movidas.....	78
Tabela 12 — Conexões dos sinais de controle provenientes do sistema de acionamento	80
Tabela 13 — Dados referentes às rodas fônicas.....	82
Tabela 14 — Informações sobre os captadores e filtros de cada gerador de tom	91
Tabela 15 — Divisão dos sinais de entrada em cada CD4066.....	94
Tabela 16 — Sinais de saída de cada CD4066.....	95
Tabela 17 — Sinais de entrada na drawbar A	97
Tabela 18 — Sinais de entrada na drawbar B	97
Tabela 19 — Sinais de entrada na drawbar C	98
Tabela 20 — Sinais de entrada na drawbar D	98
Tabela 21 — Sinais de entrada na drawbar E.....	98
Tabela 22 – Medidas do mancal utilizado.....	102
Tabela 23 — Informações extras do mancal utilizado.....	102
Tabela 24 — Dimensões pé de nivelamento	103
Tabela 25 — Informações sobre o perfil de alumínio	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OS INSTRUMENTOS MUSICAIS E SUAS CLASSIFICAÇÕES	12
1.2	HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO ÓRGÃO HAMMOND	14
1.3	O FUNCIONAMENTO BÁSICO DO ÓRGÃO HAMMOND	16
1.3.1	AS INTENÇÕES E AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	17
1.3.2	O HAMMOND E A FÍSICA POR TRÁS DA GERAÇÃO DO SOM	19
1.3.3	MODO DE OPERAÇÃO DO ÓRGÃO	22
1.3.4	PREMISSAS DO PROJETO	26
1.3.4.1	MOTOR	27
1.3.4.2	ACIONAMENTO.....	27
1.3.4.3	TONEWHEELS	27
1.3.4.4	DRAWBARS	28
1.3.4.5	AMPLIFICAÇÃO E EMISSÃO	28
1.3.5	DIAGRAMA DE BLOCOS GERAL	28
2	BLOCO MOTOR	30
2.1	CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	30
2.2	CONCEPÇÃO DO SISTEMA MECÂNICO	31
2.3	DESENVOLVIMENTO DAS POLIAS	32
2.4	RESULTADOS	34
3	BLOCO ACIONAMENTO	37
3.1	CONCEPÇÃO	37
3.2	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO.....	39
3.3	RESULTADOS	41
4	BLOCO TONWHEELS	43
4.1	CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	43
4.2	CONCEPÇÃO DO SISTEMA MECÂNICO	45
4.3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO.....	45
4.4	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA MECÂNICO.....	46
4.5	RESULTADOS	48
5	BLOCO DRAWBARS	53
5.1	CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	54
5.2	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE DRAWBARS	56
5.3	RESULTADOS	58
6	BLOCO AMPLIFICAÇÃO E EMISSÃO	60
6.1	CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO	60
6.2	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO E EMISSÃO ...	60
6.3	RESULTADOS	61
7	INTEGRAÇÃO DOS BLOCOS E OBSERVAÇÕES	62
7.1	ESTRUTURA EXTERNA.....	62
7.2	INTEGRAÇÃO ENTRE EIXOS, POLIAS E CARÇAÇA	64
7.3	RODAS FÔNICAS E CAPTADORES	66

CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A — GLOSSÁRIO MUSICAL.....	73
APÊNDICE B — Informações referente ao bloco 1	74
APÊNDICE B — Informações referente ao bloco 2	79
APÊNDICE C — Informações referente ao bloco 3	81
APÊNDICE D — Informações referente ao bloco 4.....	93
APÊNDICE E — Informações referente à estrutura pensada do projeto	99
ANEXO A — Folhas de dados motor DC.....	100
ANEXO B — Folha de especificações da correia plana	101
ANEXO C — Desenho mecânico mancal com rolamento	102
ANEXO D — Folha de dados do pé de nivelamento escolhido	103
ANEXO E — Desenho mecânico do perfil de alumínio escolhido	104
ANEXO F – INFORMAÇÕES REFERENTES AO ÓRGÃO HAMMOND	105

1 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso se estrutura sob três pilares fundamentais: o primeiro é a apresentação de uma proposta de projeto, como forma de contribuir para uma posterior construção, de um protótipo de órgão eletromecânico, cujo princípio de geração de som é semelhante ao órgão Hammond, mas que apresenta processos diferenciados na concepção das outras partes do instrumento.

O segundo pilar é evidenciar o aspecto multidisciplinar ao envolver dois universos (música e engenharia), que à primeira vista se apresentam como separados, mas, na realidade, possuem suas interseções na criação de instrumentos e no processamento de sinais, caracterizando a engenharia como fonte auxiliadora da música.

O terceiro pilar é o resgate histórico de um instrumento musical como forma de enaltecer o trabalho de tantas engenheiras e engenheiros envolvidos no processo de desenvolvimento e inovação no campo da música ao longo dos anos, proporcionando momentos importantes para o cenário, como a criação do órgão Hammond.

Como forma de estruturar as motivações e os objetivos desta monografia, a introdução apresentará alguns tópicos sobre a história da classificação dos instrumentos musicais, como os instrumentos eletrônicos se inserem neste meio e qual o contexto de surgimento de um dos principais representantes deste conjunto: o órgão Hammond.

1.1 OS INSTRUMENTOS MUSICAIS E SUAS CLASSIFICAÇÕES

Segundo Pires Filho (2009), um instrumento musical é todo objeto com a capacidade de produzir música e que consiga controlar, com precisão, algumas das características do som gerado pelo mesmo como altura, intensidade, timbre e duração. Como todo objeto e principalmente devido ao número de instrumentos que foram surgindo, o ser humano com o passar do tempo, se viu na necessidade de classificá-los dando início a um estudo para descrição e separação dos instrumentos musicais, conhecida como Organologia (do latim “*organum*”, que significa ferramenta, instrumento, de forma geral).

Desde a antiguidade, os seres humanos desenvolvem métodos de classificação dos instrumentos. Na Grécia Antiga, por exemplo, os instrumentos eram classificados pela forma com que seus sons eram produzidos ou ainda, pela forma com que homens e mulheres reagiam ao som que escutavam (KARTOMI, 1990). Mas foi apenas no século XIX que classificações

mais amplas foram desenvolvidas, como a de Victor-Charles Mahillon, (MAHILLON, 1874) que opta por posicionar os instrumentos de acordo com a forma que o som era gerado, criando, assim, os seguintes grupos:

- Autofones (som produzido pela elasticidade do próprio corpo);
- Membranofones (som produzido pela vibração de uma membrana tensionada);
- Cordofones (som produzido pelo movimento do ar);
- Aerofones (som produzido pela vibração de uma ou mais cordas);

Apesar do trabalho realizado, sua contribuição limitava-se apenas a uma visão eurocêntrica dos instrumentos musicais e, sendo assim, ainda se demonstrava pouco eficaz, dada a gama de instrumentos criados ao redor do mundo. Neste contexto, o sistema criado por Mahillon sofreu adaptações e foi ampliado por dois etnomusicólogos: Erich von Hornbostel e Curt Sachs. Através da publicação “*Systematik der Musikinstrumente*” (HORNBOSTEL e SACHS, 1914) o sistema Hornbostel-Sachs de classificação é apresentado, tendo como principais propostas: a mudança do termo autofone para idiofone (para que se evitasse a ideia de que autofones eram instrumentos que tocavam sozinhos) e um novo sistema de subdivisão das classes dos instrumentos (já usadas em sistemas de organização de bibliotecas). Dessa forma, a nova classificação era dada pelas seguintes categorias:

1. Cordofones;
2. Idiofones;
3. Membranofones;
4. Aerofones;

Já em 1937, o musicólogo Francis William Galpin, em seu livro “*A textbook of European musical instruments*” (GALPIN, 1937), propõem uma nova categoria de instrumentos para o sistema Hornbostel-Sachs: os eletrofones. Essa categoria é sugerida diante um cenário de experimentação de instrumentos elétricos (como o *Teremin*) e acaba por ser incluída no sistema de Sachs através de uma revisão em 1940.

Essa quinta categoria abrange instrumentos como o piano Rhodes, as ondas Martenot, os *samplers*, sintetizadores e o órgão Hammond, objeto de estudo deste trabalho. Apesar de não

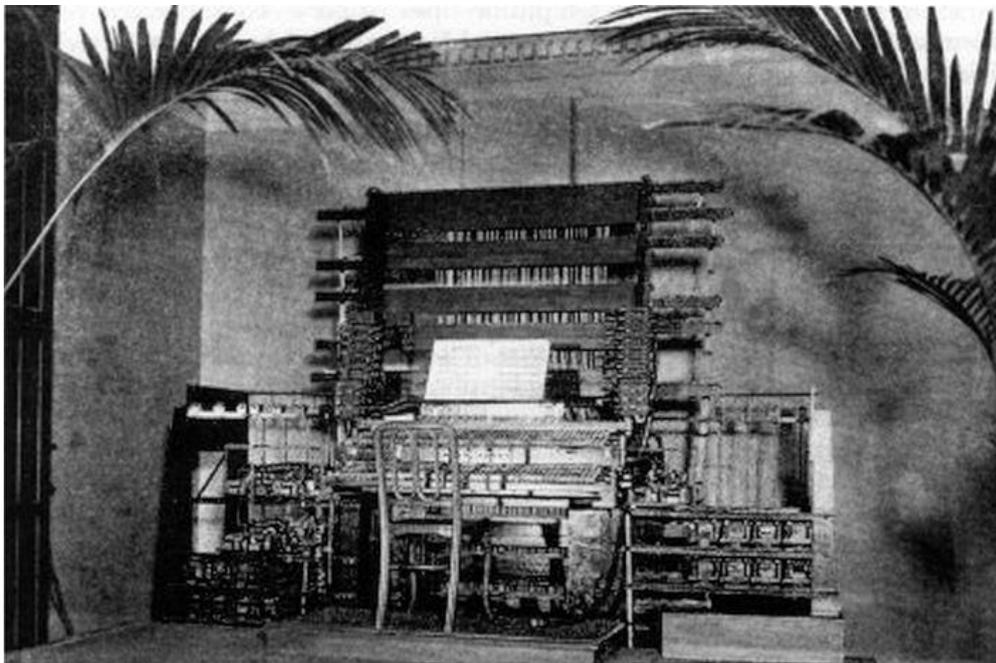
ser consenso entre os pesquisadores, o modelo de classificação Hornbostel-Sachs (revisado, com a inclusão dos eletrofonos) ainda é o mais usado atualmente.

1.2 HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO ÓRGÃO HAMMOND

Segundo o Museu Virtual do Sintetizador, mantido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, os primeiros sintetizadores foram concebidos após uma evolução da relação entre o ser humano e o som, causada pela criação de objetos como o telefone e o gramofone: sistema de reprodução de sons gravados em um disco plano (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL).

Considerado o primeiro instrumento eletromecânico, o Telharmonium (Figura 1), construído e patenteado por Thaddeus Cahill em 1897, apresenta o conceito de geração de sons através da eletricidade. O instrumento era tocado usando teclas, seu som era gerado através de rodas metálicas, transmitido por cabos telefônicos e era escutado através de cones de papel presos aos captadores de sons telefônicos.

Figura 1 — Telharmonium



Fonte: Telharmonium - Wikipedia

Algumas décadas foram necessárias para que avanços na área surgissem, mesmo que através de caminhos não convencionais. E isso inicia-se no ano de 1928, devido ao esforço do engenheiro mecânico e americano Laurens Hammond, no desenvolvimento e aperfeiçoamento

de seu motor síncrono¹, utilizado inicialmente na fabricação de um relógio e que se concretiza na fundação da *Hammond Clock Company*, com seis trabalhadores, e erguido sobre um supermercado em Chicago (The New York Times, 1973).

Devido à crise econômica ocasionada pela Grande Depressão dos anos 30, e precisando encontrar um novo objetivo ao seu motor síncrono, Hammond parte para novas invenções como um sistema de distribuição automática de cartas e trabalhos na área de estereoscopia² com um precursor dos óculos 3D.

Contudo, foi na música que ele encontra uma saída, através da construção de um órgão eletromecânico, cujo objetivo inicial seria suprir igrejas e estúdios com um instrumento alternativo aos grandes e caros órgãos de tubo. E dessa forma nasceu o órgão Hammond, instrumento que consolida todo o desenvolvimento do motor síncrono, utilizado em seus relógios, com o aperfeiçoamento da tecnologia de geração de som criada por Cahill. Com o sucesso de sua invenção, é fundada a empresa *Hammond Organ Company* e, em 1934, é posto à venda, o primeiro modelo do instrumento: *Model A* (Figura 2). Já o modelo mais famoso é o B-3 (Figura 3).

Figura 2 — Laurens Hammond e o primeiro modelo da sua criação



Fonte: Latorre (2001)

¹Motor síncrono é um tipo de máquina elétrica cuja rotação do eixo do rotor é atrelada a frequência da rede elétrica que o alimenta, o que confere uma velocidade estável ao sistema acoplado.

²Estereoscopia é o conceito de profundidade aplicado à visão. Naturalmente o ser humano, devido à disposição dos olhos possui a visão estereoscópica. No caso do cinema, os filmes utilizam de técnicas e dispositivos para criar essa sensação de profundidade, exemplo disso é o Televue, aparelho inventado por Hammond nos anos de 1920 capaz de projetar filmes estereoscópicos, se tornando base para os filmes 3-D atuais.

Figura 3 — Órgão Hammond modelo B3



Fonte: Latorre (2001)

O século XX ainda apresenta diversas conquistas na área eletrofônica, como a criação da música eletroacústica na década de 1950, o sintetizador Moog nos anos de 1960 e, com o surgimento do computador pessoal e do padrão MIDI (protocolo de comunicação unificado criado em 1983), a sintetização analógica agora pode ser digital e são criados os primeiros instrumentos virtuais (anos 1990 até os dias atuais).

Através da linha do tempo abordada, percebe-se que a união da musicalidade e o conhecimento técnico dos inventores das tecnologias fez-se necessária para a evolução da sintetização eletroacústica e suas aplicações no cenário musical, marcando gerações com timbres únicos. Desta forma, é possível concluir que o desenvolvimento dos eletrofonos apenas foi possível devido à pesquisa e inovação, que aliou a arte e a engenharia.

1.3 O FUNCIONAMENTO BÁSICO DO ÓRGÃO HAMMOND

Uma vez passado pela introdução histórica, é necessário agora apresentar os aspectos técnicos do instrumento, seu funcionamento e as diferenciações tecnológicas entre a construção original e o projeto proposto.

Primeiramente serão apresentadas as características de concepção do Hammond, a física por trás da geração do som e um resumo do modo de operação do instrumento. Na segunda

parte, com auxílio do modelo de diagrama de blocos, serão apresentados alguns componentes do órgão e as propostas de modificações.

Vale ressaltar que, apesar de ser apresentada uma descrição original do funcionamento do instrumento, ela não será detalhada e buscará manter o foco na geração eletromecânica do som. As demais partes poderão ser citadas a fim de buscar a maior abrangência de detalhes possível, mas poderão ser encontradas na patente principal do instrumento (HAMMOND, 1934), principal referência histórica deste trabalho.

1.3.1 AS INTENÇÕES E AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

A intenção da *Hammond Organ Company* era proporcionar uma opção mais barata para os órgãos de tubos, localizados em igrejas, e fornecer um desempenho sonoro semelhante ao mesmo em gravações (OLSEN). Além disso, Laurens Hammond coloca como objetivo primário “a invenção de um instrumento musical elétrico cujos sons produzidos possam ser capazes de executar qualquer composição musical” (HAMMOND, 1934). Os outros 29 objetivos traçados por Hammond na construção de sua patente são apresentados na lista abaixo, sendo destacados aqueles pontos considerados norteadores no desenvolvimento deste TCC.

1. **Fornecer meios melhorados de gerar uma pluralidade de correntes de diferentes frequências capazes de serem traduzidas em sons musicais;**
2. **Fornecer meios melhorados de conduzir tais geradores a uma velocidade constante;**
3. **Fornecer circuitos onde as correntes de cada gerador possam ser combinadas e/ou sintetizadas (aplicação de efeitos);**
4. Fornecer meios melhorados para eliminar o ruído produzido ao acionar ou interromper os vários circuitos, às vezes referido como o ruído de "batida de tecla" ou "clique de tecla";
5. **Criar circuitos onde a pluralidade das correntes provenientes de diferentes fontes (geradores) possa ser combinada sem consideráveis cancelamentos ou subtrações;**
6. **Criar um circuito elétrico onde selecionáveis proporções da energia proveniente de fontes de diferentes frequências possam ser combinadas;**

7. Fornecer meios seletivos para alterar a qualidade dos timbres produzidos pelo instrumento;
8. **Fornecer meios seletivos para alterar as proporções relativas da energia elétrica proveniente dos geradores da nota fundamental e seus vários harmônicos;**
9. Fornecer meios seletivos para determinar simultaneamente a qualidade de todos os tons produzidos ao pressionar uma tecla;
10. Fornecer meios para condicionar rapidamente o instrumento a reproduzir timbres provenientes de um conjunto pré-estabelecido;
11. Fornecer meios para mudar facilmente as ditas qualidades de timbres pré-estabelecidos;
12. Fornecer meios para ajustar as correntes produzidas pelos geradores para compensar defeitos inevitáveis nos meios utilizados para traduzir as correntes em som;
13. Fornecer um arranjo plural de geradores de diferentes frequências, reduzindo o acoplamento indutivo entre os geradores;
14. **Fornecer um meio melhorado para acionar os geradores nas diferentes velocidades exigidas para a geração das correntes de diferentes frequências;**
15. Fornecer meios melhorados para a produção de efeitos de tremolo;
16. Fornecer métodos aprimorados de fiação do instrumento em que vários condutores servem como meio para introduzir resistências elevadas no circuito;
17. Fornecer um instrumento do tipo que seja relativamente leve e portátil;
18. Fornecer um instrumento com uma série de teclas com meios melhorados para mudar a qualidade dos tons produzidos através em diferentes acionamentos;
19. **Produzir geradores semelhantes para uma pluralidade de diferentes frequências, em que a compensação pode ser feita prontamente para fazer com que as correntes produzidas pelos geradores quando traduzidas em som, devem ter o mesmo volume;**
20. **Fornecer uma pluralidade de geradores de correntes de diferentes frequências em que um único contra eixo, compreendendo uma pluralidade de seções, é utilizado para conduzir todos os geradores;**
21. Fornecer um banco de geradores para correntes de diferentes frequências em uma pluralidade de unidades conectadas de forma flexível, que incluem uma pluralidade de geradores de frequências que são múltiplos exatos um do outro e cada unidade sendo isolada das unidades restantes;

22. Fornecer uma pluralidade de geradores produzindo correntes de diferentes frequências, provenientes de uma pluralidade de unidades semelhantes nas quais os eixos do rotor de sucessivas unidades são escalonados um em relação ao outro de modo que os eixos do rotor de unidades adjacentes podem ter um rolamento em comum;
23. **Fornecer uma conexão resiliente para a condução entre o motor síncrono e os geradores;**
24. Fornecer um arranjo de engrenagens melhorado para acionar os rotores dos geradores na velocidade necessária;
25. **Criar um instrumento onde cada acorde possa ser tocado e em cada corrente elétrica de mesma frequência, se utilizada nos vários tons (sejam eles fundamentais ou harmônicos) possam ser provenientes de uma fonte comum;**
26. Fornecer um instrumento no qual a diminuição da saída proveniente de um determinado gerador é obtida por um método que diminui a impedância do circuito de saída;
27. Fornecer um instrumento com uma pluralidade de teclados nos quais há uma duplicação da faixa de tons. Além disso, tons de diferentes qualidades podem ser controlados por diferentes teclas, de forma que o acionamento das teclas correspondentes em dois ou mais teclados resultarão em uma verdadeira combinação dos tons produzidos assim, sem substancial perda de energia;
28. Fornecer um instrumento com uma pluralidade de geradores de corrente alternada de diferentes frequências, capazes de gerar correntes relativamente fortes e, através de resistências adequadas, diminuir as correntes dos vários geradores selecionados para uma porcentagem relativamente pequena na saída, em proporções relativas predeterminadas, amplificando a corrente composta e traduzindo-a em som.
29. Fornecer meios para compensar as diferenças na energia das correntes produzidas pelos geradores de diferentes frequências.

1.3.2 O HAMMOND E A FÍSICA POR TRÁS DA GERAÇÃO DO SOM

Uma das características marcantes pelo qual o Hammond é conhecido é seu som característico. O método de geração desse som se assemelha, do ponto de vista da física, ao método de geração das notas musicais de uma guitarra elétrica. O conceito que rege e explica este fenômeno é a Lei de Indução de Faraday.

O físico Michael Faraday descobriu em suas pesquisas que uma força eletromotriz, bem como uma corrente podem ser produzidas dentro de uma espira, ao variar o campo magnético próximo a ela (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). O valor da força eletromotriz gerada pode ser calculado por (1):

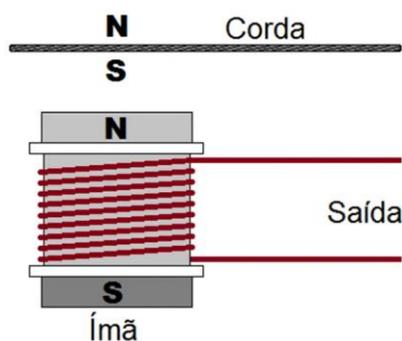
$$\varepsilon [V] = - \frac{d\phi_B [Wb]}{dt [s]} \quad (1)$$

Tal descoberta foi importante para o desenvolvimento de uma série de equipamentos como geradores, alternadores, motores e, especificamente para este projeto, o captador musical.

Para efeito de exemplificação, para o cenário de uma guitarra elétrica, o funcionamento é da seguinte forma: o campo magnético do ímã do captador rearranja os elétrons livres das cordas metálicas da guitarra produzindo um polo norte (N) e um polo sul (S) no trecho de corda imediatamente acima do ímã e, conseqüentemente, seu próprio campo magnético. Quando a corda, que é metálica, é tocada, ela oscila, provocando uma mudança no campo magnético próximo, o qual é sentido pelo captador, e que induz uma corrente elétrica dentro da bobina. A frequência com a qual a corda da guitarra se aproxima e afasta do captador é a mesma com a qual a corrente induzida na bobina muda de sentido, fazendo com que a frequência de oscilação seja transmitida ao longo do circuito e seja no ouvida, no final, sob a forma de uma nota musical. A Figura 4 é a representação do exemplo supracitado.

Ao enrolar a bobina com um número diferente de espiras, ou com uma forma diferente, ou ainda, usar um ímã de material diferente a corrente muda e, conseqüentemente, a sensibilidade e o timbre do captador. Por isso a existência de uma gama de captadores disponíveis no mercado.

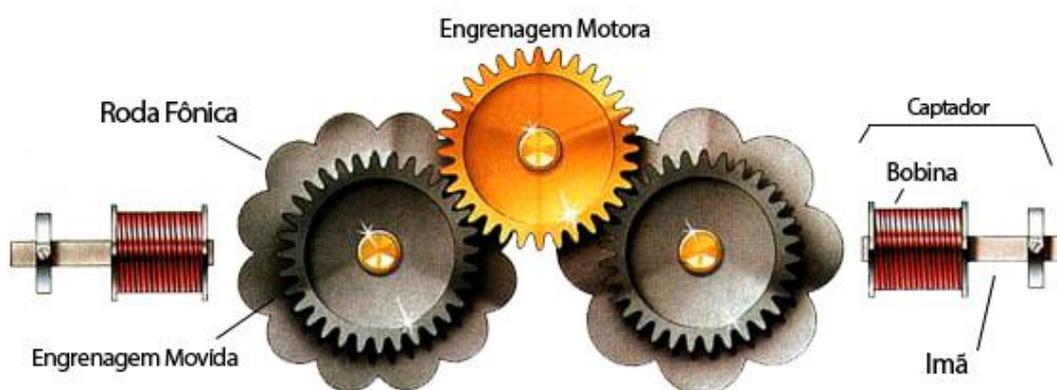
Figura 4 — Vista lateral de uma bobina de captação de uma guitarra elétrica.



Fonte: Adaptado de Halliday, Resnick e Walker (2009, p. 269)

Para o caso do Hammond, ao invés das cordas tem-se discos metálicos (chamados de rodas fônicas) cujas bordas possuem um perfil ondulado, que buscam se aproximar do formato de uma onda senoidal. Quando uma dessas rodas está em movimento, o captador próximo percebe uma variação no campo magnético, causado pela diferença entre os picos e os vales da borda do disco e induz, em sua bobina, uma corrente elétrica cuja forma é definida pela borda da roda e a ponta do captador. Já a frequência de corrente induzida está associada ao número de ondulações na borda do disco (aqui chamadas de lóbulos), e uma razão entre os pares de engrenagens (motora e movida) que movimentam o disco. A Figura 5 mostra um modelo do funcionamento de duas rodas fônicas em conjunto de suas engrenagens e seus respectivos captadores. O conjunto do captador e da roda fônica dá-se o nome de *Tonewheel* (gerador de tons).

Figura 5 — Modelo simplificado de um Tonewheel contendo 2 geradores: um com 12 lóbulos (dir.) e outro com 8 lóbulos (esq.)



Fonte: Adaptado de B-3 V: Tonewheel Organ Heavyweight

No anexo F encontra-se uma tabela, retirada da patente do instrumento, contendo as notas musicais presentes no instrumento, o número de lóbulos de suas respectivas rodas fônicas, a frequência gerada e a prevista teoricamente e as características das engrenagens.

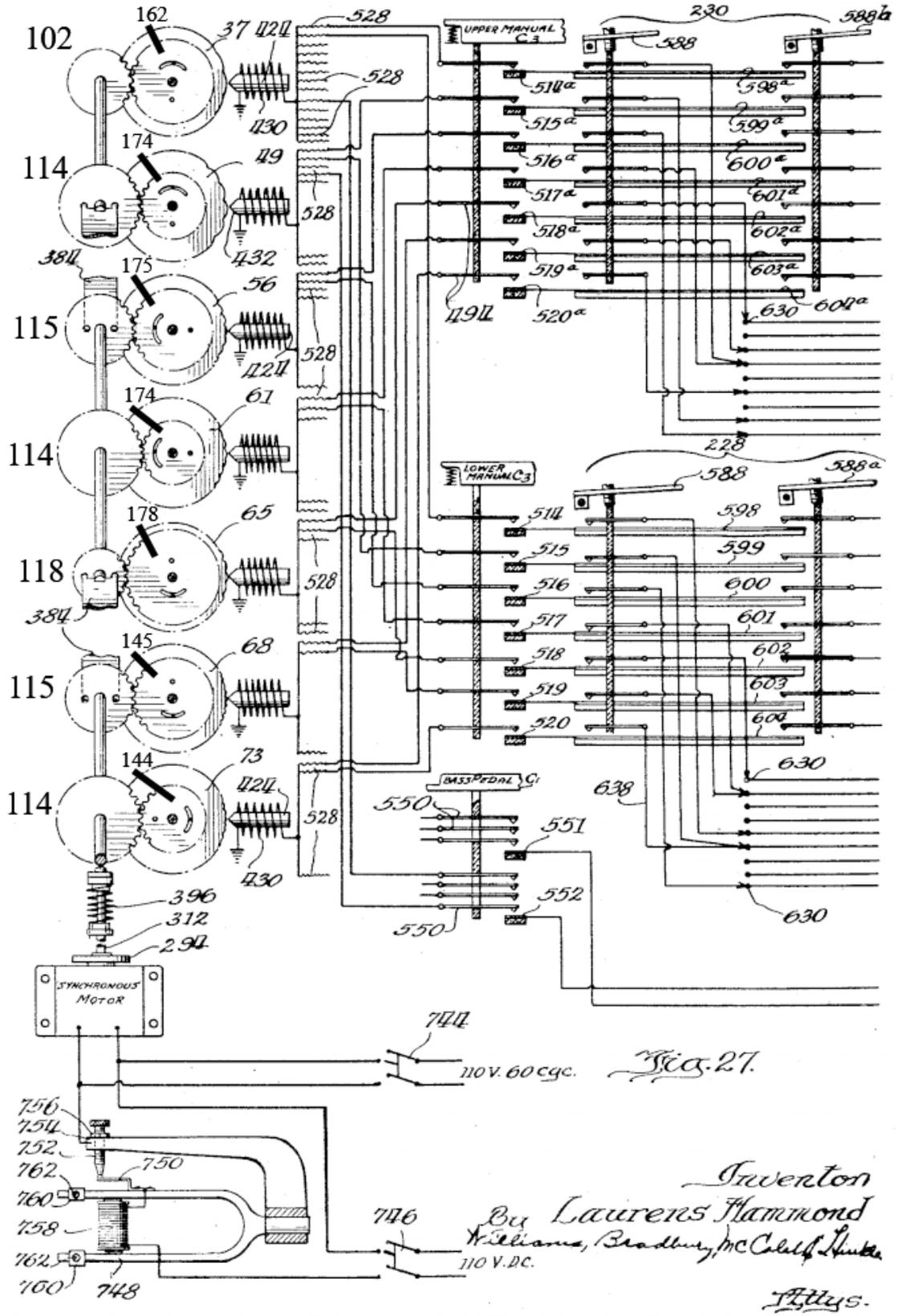
Vale observar que a escala utilizada neste instrumento se origina da afinação igualmente temperada, na qual a oitava (conjunto de teclas que agrupam um intervalo entre uma nota musical e outra com a metade ou o dobro da frequência) é dividida em doze partes, seguindo uma taxa da raiz duodécima de dois. Ou seja, a relação entre a frequência de uma nota e sua

posterior será de aproximadamente 1,059. Além disso, usou-se a nota Lá (A) = 440 Hz como a frequência referência para a afinação do instrumento, por isso apresenta um valor inteiro.

1.3.3 MODO DE OPERAÇÃO DO ÓRGÃO

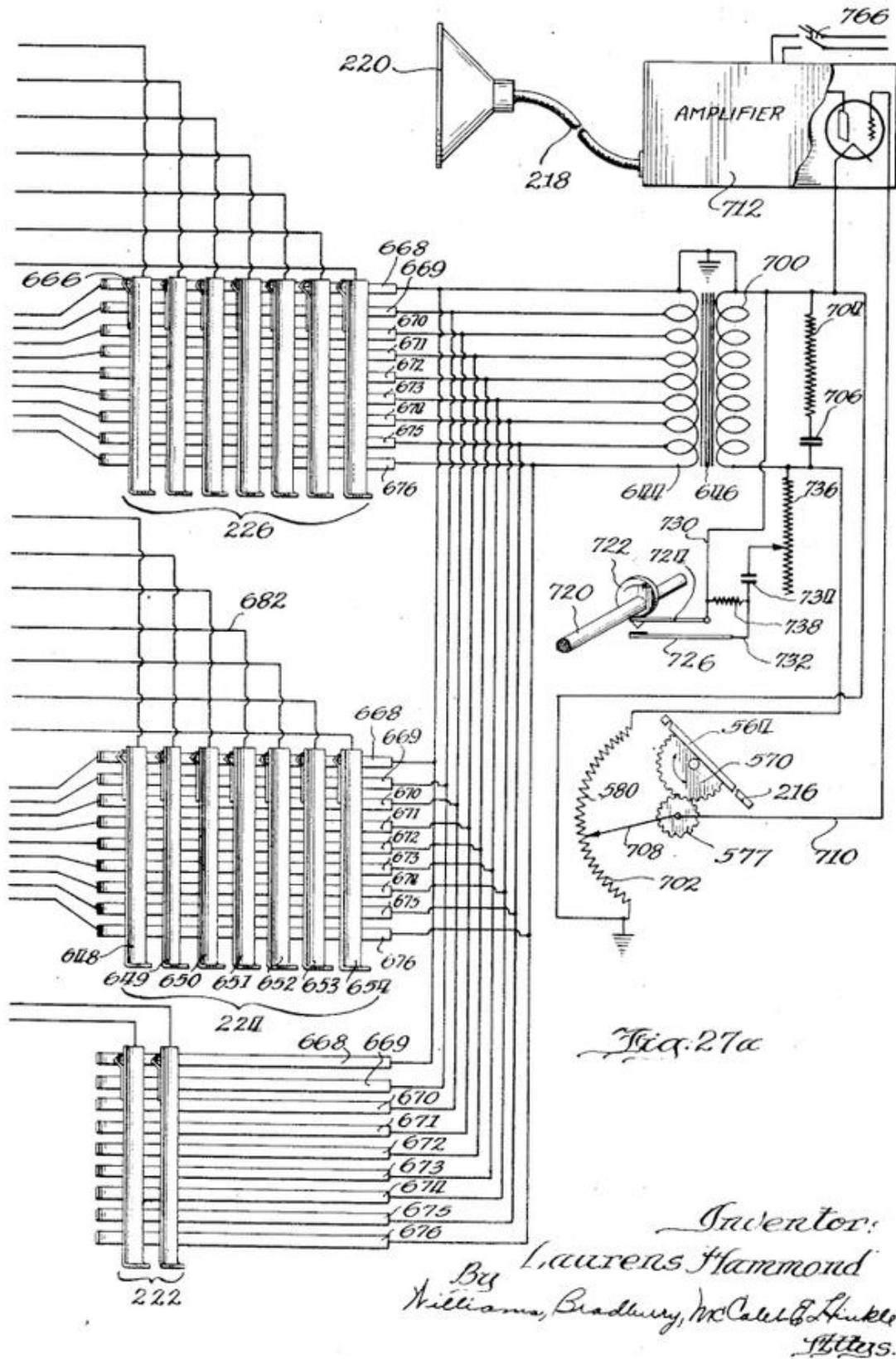
Para auxiliar na explicação do funcionamento do Hammond, serão utilizadas as Figuras 6 e 7 (extraídas da patente da invenção), bem como os códigos numéricos presentes nas mesmas, para identificação dos componentes.

Figura 6 — Diagrama esquemático do órgão



Fonte: Adaptado de Hammond (1934, p. 15)

Figura 7 — Diagrama esquemático do órgão



Para efeitos de exemplificação, as Figuras 6 e 7 retratam apenas o conjunto referente ao acionamento de uma tecla (dó 3 = 261 Hz). No funcionamento completo do modelo mais comum, o B-3, são dois andares de 61 teclas (*lower manual* e *upper manual*) e mais 25 teclas que são acionadas com os pés (*bass pedal*). Apesar das diferenças entre as teclas, o funcionamento descrito é semelhante para todas.

Primeiramente, para que o instrumento entre em funcionamento, é utilizado um motor síncrono cujo acionamento é realizado por um motor de indução auxiliar. Uma vez que o motor auxiliar coloca o motor principal na velocidade de sincronia, o mesmo é desacoplado e funciona de forma independente, estabilizando todo o sistema. Presos ao eixo do motor, estão um conjunto de engrenagens motoras (102, 114, 115, 118) de forma que, para cada uma delas, há uma engrenagem movida (144, 145, 162, 174, 175, 178) que está presa a uma roda fônica (37, 49, 56, 61, 65, 68, 73). Graças ao conjunto de engrenagens conectadas, é possível levar a rotação do motor às rodas fônicas e gerar as correntes através dos captadores (formado por 424 e 430), conforme apresentado em 1.3.2.

Ao ser pressionada uma tecla, sete contatos são fechados, através de um atuador (eixo mecânico) posicionado abaixo de cada tecla que pressiona os elementos 494, possibilitando que sete diferentes correntes geradas pelos captadores sejam enviadas para diferentes barramentos (514 a 520). Enquanto uma das correntes corresponde ao som da tecla pressionada (chamada fundamental), as outras seis correntes correspondem às ondas harmônicas da nota fundamental (previamente escolhidas durante a criação).

As correntes são conduzidas até às *drawbars*, barramentos deslizantes que controlam o fluxo de energia (648 a 654) permitindo a criação de diferentes timbres. Uma vez que as proporções das correntes que passam pelas *drawbars* são estabelecidas, elas são conduzidas para o primário do transformador de saída (644), através de um novo conjunto de barramentos (668 a 676) que estão conectados às barras anteriores. Após o transformador de saída misturar as correntes em uma saída única, esta última passa então pela etapa de amplificação (712), para assim ser traduzida em som e emitida pelos falantes (220).

A título de curiosidade, alguns outros elementos que constituem a construção original:

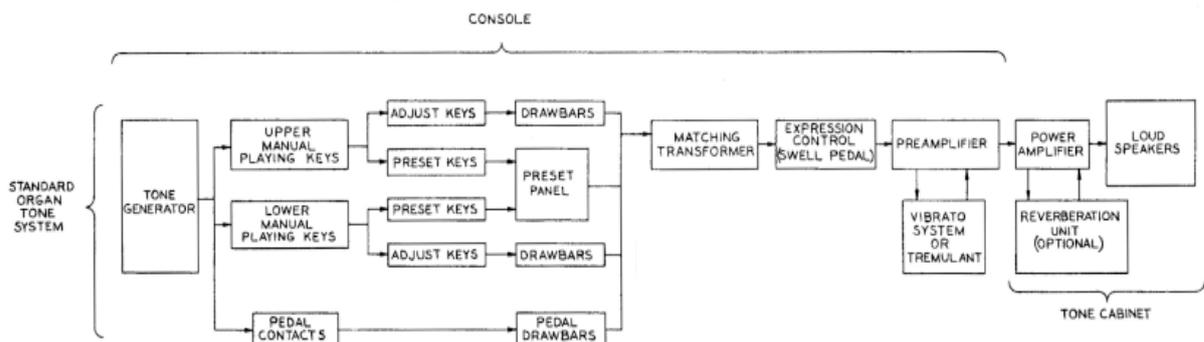
- Os elementos 588 fazem parte de um conjunto de doze chaves (em forma de teclas, com as cores invertidas), que ao serem acionadas, realizam diferentes funções. Dessas dozes chaves, duas funcionam como acionamento para a manipulação das *drawbars*, nove acionam timbres pré-estabelecidos na fabricação (uma mistura de proporções pré-

definidas de cada harmônico) e uma tecla para o cancelamento de qualquer uma das outras onze seleções;

- O conjunto RC (704 e 706) formou o primeiro filtro da primeira versão do instrumento, que foi aprimorado posteriormente com a inclusão de filtros em cada gerador de tom;
- Para situações que a frequência exigida para o motor não se encontrava disponível, ou quando o Hammond seria tocado na companhia de outros instrumentos de diferentes afinações (como uma orquestra) poderia se utilizar de um acionamento usando fontes externas e até uma manivela. Nesse modo, a afinação do instrumento poderia ser corrigida através de um diapasão (748 e adjacentes).

Para finalizar, a Figura 8 apresenta o diagrama de blocos padrão do órgão original.

Figura 8 — Diagrama de blocos padrão do Hammond



Fonte: Adaptado de Hammond Organ Company (p. 18)

1.3.4 PREMISSAS DO PROJETO

Como forma de guiar para o restante do projeto, as principais partes do órgão serão divididas, por escolha do autor, através do modelo de diagrama de blocos. Em cada bloco será apresentado seus componentes, sua função e um resumo da proposta de diferenciação tecnológica escolhida.

Após esta etapa introdutória, cada bloco será detalhado contendo as etapas de concepção, projeto e os resultados obtidos (metodologia para futura implementação), tanto para o sistema mecânico quanto para o sistema elétrico.

Sendo assim, os blocos criados são:

- Motor;
- Acionamento;

- *Tonewheels*;
- *Drawbars*;
- Amplificação e emissão;

Vale observar que além dos cinco blocos, haverá uma seção específica para abordar as integrações estruturais e demais observações acerca do projeto.

1.3.4.1 MOTOR

O bloco motor corresponde a toda estrutura (mecânica e elétrica) responsável pela movimentação das engrenagens, rodas fônicas e distribuição de energia para os outros sistemas que necessitam de eletricidade para funcionar.

A diferenciação a ser apresentada neste projeto será a substituição do sistema de engrenagens por um sistema de polias com correia, capaz de transmitir toda a rotação necessária para a movimentação das rodas fônicas (localizadas no bloco *tonewheels*) além uma segunda opção de um motor com controle de velocidade.

1.3.4.2 ACIONAMENTO

Tanto no projeto original, quanto no proposto, o bloco de acionamento corresponde a toda estrutura mecânica e elétrica, desde as teclas dos instrumentos até o sistema de acionamento das múltiplas chaves, proporcionando a passagem da corrente gerada até as *drawbars*.

A diferenciação proposta consiste na utilização de um circuito de múltiplas saídas contendo um botão, acionado pela tecla do instrumento, e um circuito integrado contendo chaves, para auxiliar nos numerosos acionamentos.

1.3.4.3 TONEWHEELS

Este bloco é mais um dos blocos apresentados a não sofrerem com grandes alterações entre a construção original e a apresentada neste trabalho, principalmente por representar a principal característica do instrumento: a geração de sons musicais de forma eletromecânica. Ele é caracterizado pelos geradores de tons (captadores e rodas fônicas) e os filtros para a

adequação da corrente gerada. A diferença mais significativa a ser proposta é a disposição das rodas fônicas, se adequando ao sistema de polias proposto no bloco motor.

1.3.4.4 DRAWBARS

O bloco das *drawbars* é onde há a maior diferenciação e a proposta de inovação. Ele é caracterizado por toda estrutura eletromecânica de barramentos que transporta a corrente criada no ‘gerador de tons’ até o bloco de amplificação e emissão, passando pelas *drawbars* em si, que têm a capacidade de criar inúmeras possibilidades de sons através da combinação de proporções de energia proveniente de cada gerador.

Neste trabalho será apresentada uma proposta de diferenciação utilizando circuitos integrados (os mesmos do bloco tonewheels) em conjunto a uma estrutura lógica para as múltiplas combinações das correntes geradas e um circuito amplificador com potenciômetros deslizantes para misturarem (*mixers*) os sons dos harmônicos semelhantes e funcionar como as *drawbars* do projeto original.

1.3.4.5 AMPLIFICAÇÃO E EMISSÃO

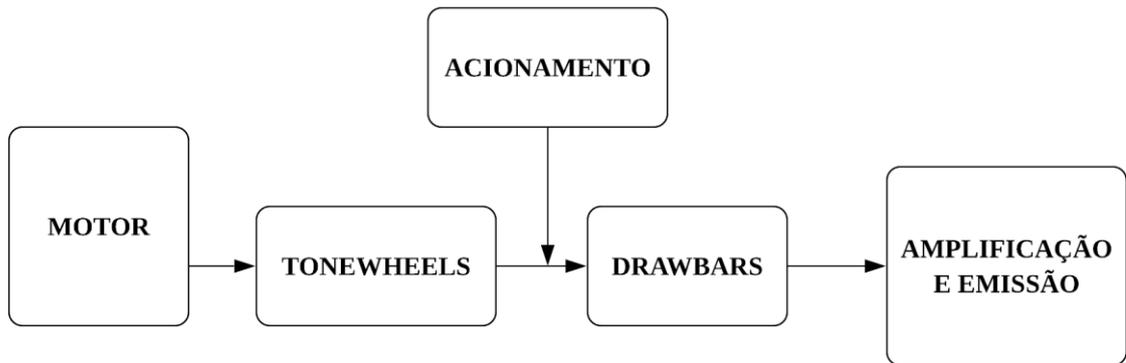
Este bloco talvez represente a maior simplificação entre o Hammond e o instrumento proposto. Ele é caracterizado por toda a estrutura que amplifica o som gerado e já misturado e emite através dos falantes. Originalmente este bloco é formado pelo transformador de saída, os circuitos de sintetização do som (aplicação de efeitos) o pré-amplificador valvulado e os falantes.

No projeto proposto, este bloco sugere uma amplificação e emissão mais enxuta, uma vez que o foco da inovação se encontra nas *drawbars* e o resgate histórico se encontra no gerador de tons

1.3.5 DIAGRAMA DE BLOCOS GERAL

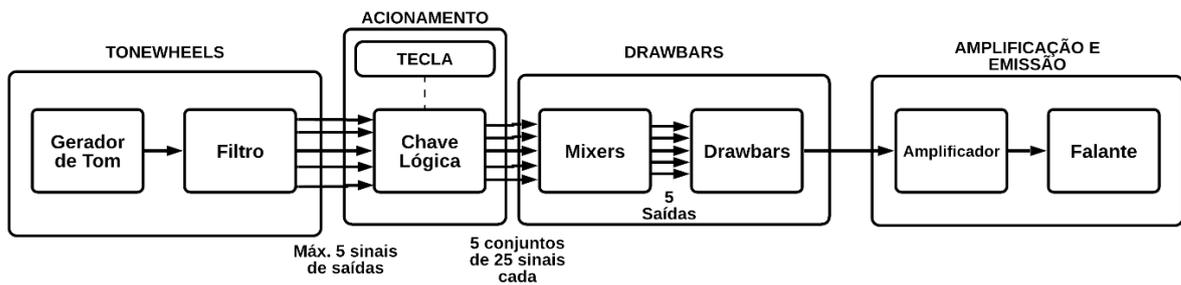
Com o fim desta introdução, a Figura 9 apresenta um modelo simplificado do diagrama de blocos e suas conexões e na Figura 10, é apresentado um segundo diagrama (com um grau maior de informações em relação ao diagrama da Figura 9), do caminho que o sinal de áudio percorre para o cenário de um gerador de tons.

Figura 9 — Diagrama dos blocos propostos



Fonte: O autor (2020)

Figura 10 — Diagrama de blocos para o caminho pelo qual o sinal de áudio percorre para o cenário de um gerador de tom



Fonte: O autor (2020)

2 BLOCO MOTOR

Na construção original, Laurens Hammond utiliza-se de uma tecnologia familiar em suas invenções: o motor síncrono. Para aquele momento, esta era uma das melhores formas de garantir que todo o sistema se manteria estável a uma rotação constante, garantindo que a afinação do instrumento se mantivesse a mesma durante todo o funcionamento.

2.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Apesar do motor síncrono ser considerado um ótimo mecanismo de conduzir o sistema, atualmente há um conjunto maior de opções para substituição. Para este bloco, será apresentado uma opção viável para o desenvolvimento do projeto e que consegue entregar as mesmas condições de operação que o motor síncrono: um motor de corrente contínua alinhado a um sistema de controle de velocidade via PWM.

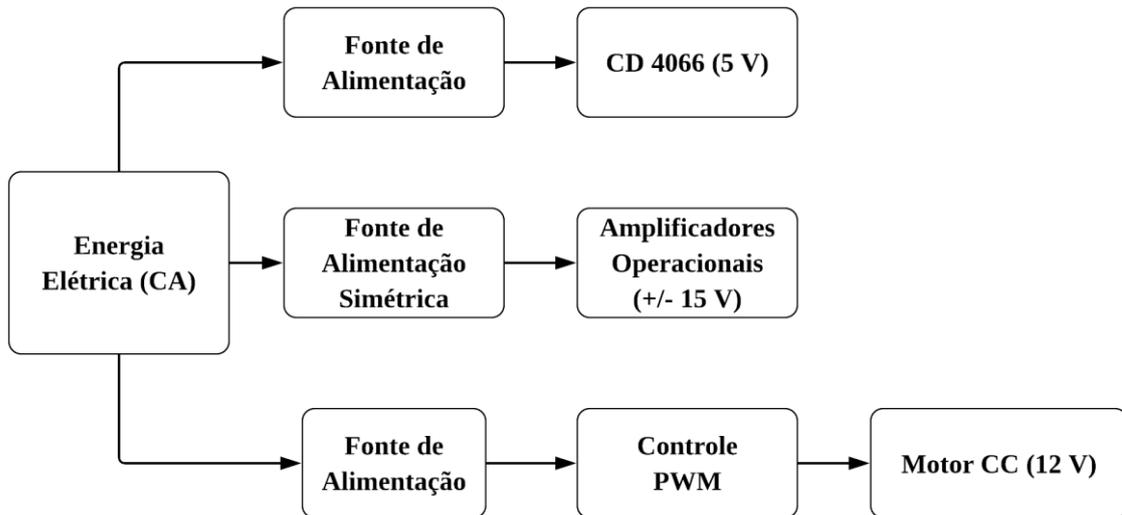
O motor DC (corrente contínua) é uma opção a ser considerada devido ao seu baixo custo, sua facilidade em adquirir, sua flexibilidade em ter a velocidade controlada (através da variação de tensão aplicada), não necessitar de um motor secundário para acionamento e com o controle de velocidade, poder alterar a afinação do instrumento sem necessitar de sistemas alternativos.

Já o PWM - *Pulse Width Modulation* (modulação por largura de pulsos, em português), segundo Dos Reis (2017), é uma técnica utilizada para permitir o controle da energia fornecida a equipamentos elétricos, através da modulação do ciclo ativo (*duty cycle*) de uma onda quadrada, que será enviada ao motor. Ou seja, uma possibilidade de controle de sinais analógicos através de pulsos digitais.

Ainda como sugestão para posterior pesquisa, uma forma de medir a velocidade e garantir uma maior precisão na rotação é a utilização de um controlador do tipo PID, cujas características são: estabilidade, redução na diferença entre o valor definido e o valor real (*offset*) e diminuição nas oscilações durante o regime permanente.

A Figura 11 apresenta um diagrama de blocos do sistema elétrico teorizado para o bloco 1.

Figura 11 — Diagrama de blocos do sistema elétrico do bloco 1



Fonte: O autor (2020)

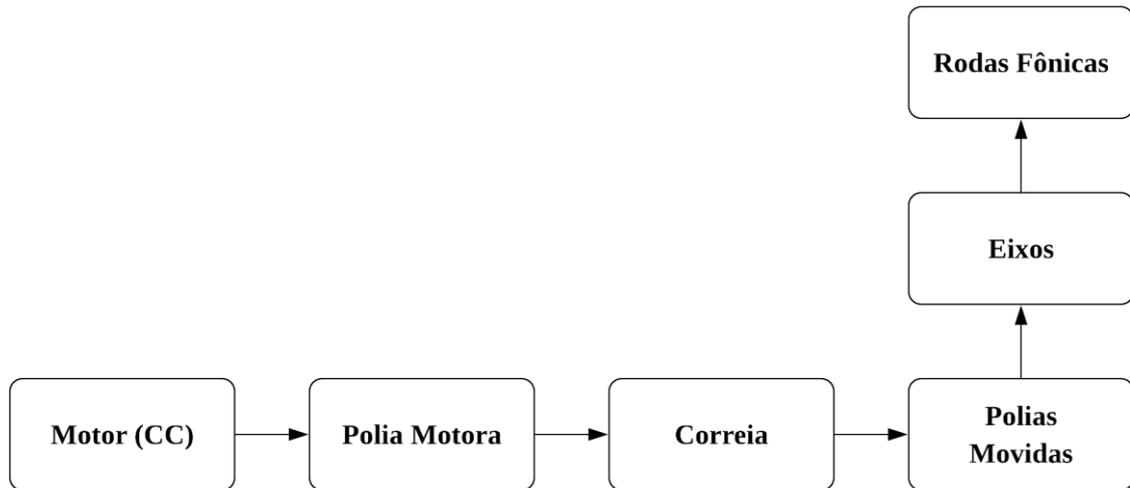
2.2 CONCEPÇÃO DO SISTEMA MECÂNICO

Para garantir que a rotação do motor chegue até as rodas fônicas, presentes no gerador de tons, o órgão possui um conjunto de engrenagens e eixos que realizam essa transmissão e cujas características de fabricação são importantes para determinar a frequência da corrente gerada em cada captador. No intuito de tornar todo este sistema mais simples, o trabalho propõe o desenvolvimento de um método de transmissão via trem de polias com correia do tipo plana.

Segundo Barbosa (2011), as polias são elementos que se movimentam pela rotação de um motor e realizam a transmissão de potência entre outras polias através de correias. O uso deste antigo método de transmissão garante vantagens como um baixo custo de adoção, resistência ao desgaste, baixa emissão de ruído e adequadas para transmissão de grandes distâncias. Existe uma variedade de tipos de correias e polias, cada conjunto para uma determinada aplicação.

A Figura 12 apresenta um diagrama de blocos do sistema mecânico teorizado para o bloco 1.

Figura 12 — Diagrama de blocos do sistema mecânico do bloco 1



Fonte: O autor (2020)

2.3 DESENVOLVIMENTO DAS POLIAS

Para iniciar o desenvolvimento, necessitou-se estabelecer alguns parâmetros fixos de forma a orientar o dimensionamento das peças, como: a rotação do motor escolhido, o diâmetro da polia motora (que estará acoplada ao eixo do motor), a faixa de frequências da primeira oitava do instrumento e o número de lóbulos dos discos da primeira oitava do instrumento.

Para considerar a rotação do motor considerou-se dois fatores: a relação de ampliação ou redução entre as polias do sistema (motora e movidas) e a máxima potência de saída do motor escolhido (mostrada na curva característica no anexo A).

Já a determinação da faixa de frequências geradas pela primeira oitava foi feita a partir da escolha do captador. O objetivo é fazer com que as polias (e conseqüentemente os eixos presos a elas) tenham uma rotação que permita que o primeiro conjunto de rodas (com quatro lóbulos) possa reproduzir a faixa de frequências estabelecidas.

Dessa forma, os valores determinados foram:

- Rotação do motor: 2000 rpm;
- Diâmetro da polia motora: 60 mm;
- Faixa de frequências geradas pela primeira oitava: ver Tabela 10 (apêndice A);
- Número de lóbulos dos discos da primeira oitava: 4;

Uma vez estabelecido estes parâmetros, é necessário calcular a rotação de cada polia movida. Para isso utiliza-se da seguinte equação (2):

$$n_i = \frac{(60 * f_i)}{l} \quad (2)$$

Onde:

- n_i = rotação da polia (em rpm);
- f_i = frequência (em Hz) esperada da primeira roda fônica (4 lóbulos) do respectivo eixo;
- l = número de lóbulos da primeira oitava;

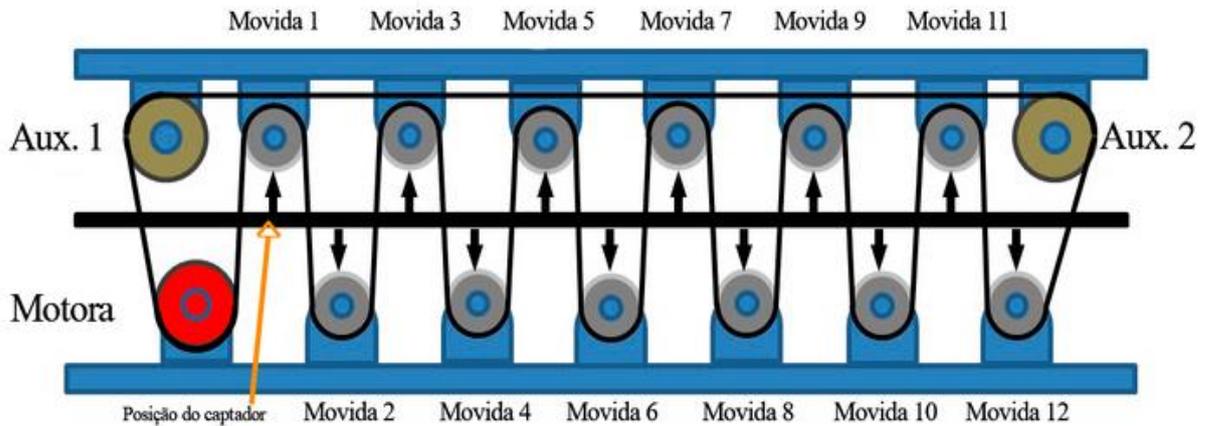
Definido o valor das rotações das polias movidas, necessita-se calcular a relação de transmissão (ou fator de redução ou de ampliação) entre as polias, dividindo o valor da rotação do motor pelo valor de cada polia movida. Com estes números, é possível determinar o diâmetro de cada polia através do produto entre a taxa de transmissão e o diâmetro da polia motora. Uma vez dimensionadas, as polias foram desenhadas no *Software* de CAD *Inventor*.

Para estimar as dimensões da correia plana, traçou-se linhas tangentes às polias e as medidas dessas linhas foram somadas ao comprimento das linhas retas e dos arcos em que o desenho da correia abraça as polias de forma que o resultado fosse próximo a valor da correia necessária. Além disso, observa-se que para garantir que a correia não escape do percurso, todas as polias possuirão ao menos uma aba (prolongamento) em um dos seus lados. O valor da altura desta aba deve ser ao menos uma vez e meia maior que a altura (espessura) da correia.

Para garantir o maior abraçamento possível das polias, o traçado da correia foi pensado de forma a alternar o percurso entre a parte de cima de uma polia e a parte debaixo da polia subsequente. Ao final da última polia a correia retorna à origem sem encostar em nenhuma das anteriores, com a ajuda de polias auxiliares, conforme apresentado no modelo da Figura 13. Esta Figura apresenta uma disposição das polias em dois andares a fim de diminuir as dimensões do instrumento. Esta parte será detalhada na seção 6.

Como última observação, caso a correia, por estar superdimensionada, apresentar folga, pode-se utilizar um esticador a fim de ajustar o sistema para o melhor desempenho na transmissão da rotação.

Figura 13 — Esquema de disposição das polias: motora, movidas e auxiliares



Fonte: O autor (2020)

2.4 RESULTADOS

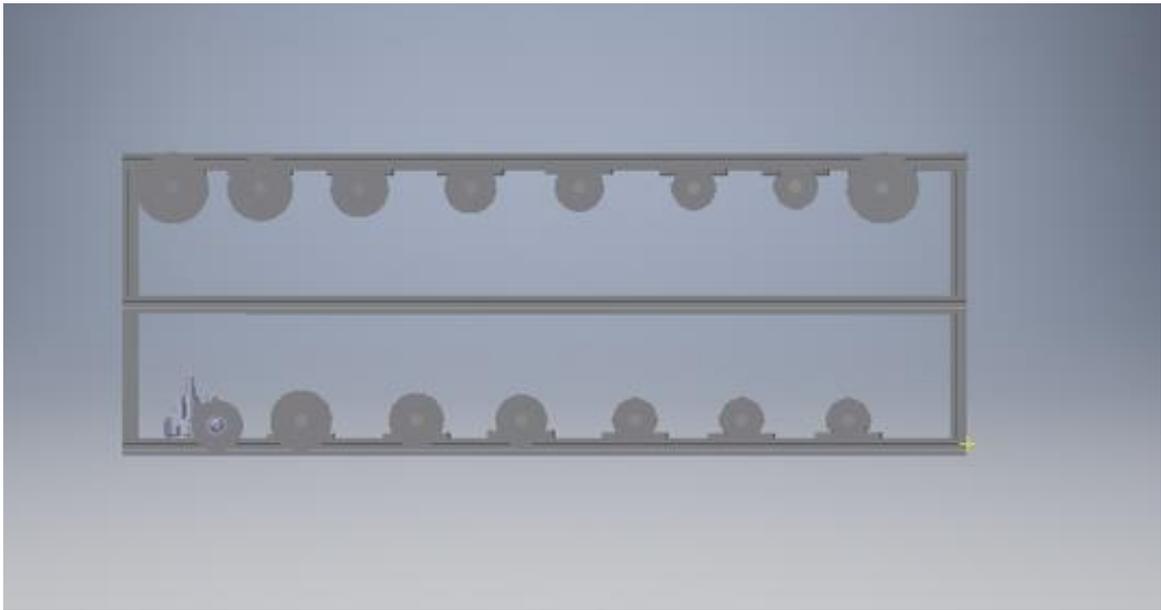
Para um futuro desenvolvimento, o motor utilizado como referência de medidas é:

- Modelo: CPB 9 130 081 051;
- Marca: Bosch;
- Tensão: 12 V;
- Rotação máxima: 4350 rpm.

No anexo A encontra-se a folha de especificações. Contudo, observa-se que desde que a rotação do rotor seja a desejada o motor é um item facilmente cambiável.

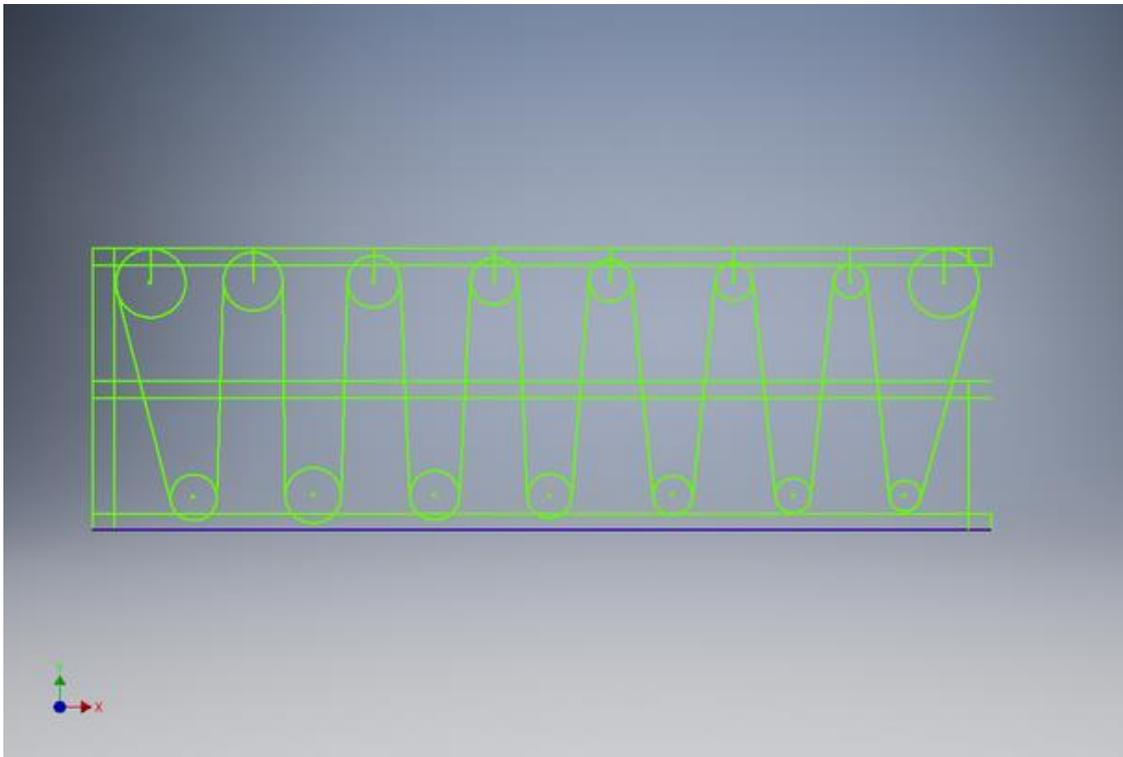
A Figura 14 apresenta o trem de polias pensado, desenvolvido em 3D através do *Inventor*. Já a Figura 15 apresenta o esboço do conjunto de linhas tangentes e retas que foram utilizadas para estimar a dimensão da correia.

Figura 14 — Desenho tridimensional do trem de polias



Fonte: O autor (2020)

Figura 15 – Esboço do conjunto de linhas que formam a correia



Fonte: O autor (2020)

A Tabela 1 contém as informações do dimensionamento da correia para os parâmetros apresentados. No anexo B encontra-se a folha de dados da correia sugerida. Vale ressaltar que o modelo escolhido é de estrutura aberta, ou seja, o comprimento da correia é feito sob medida (facilitando o desenvolvimento do projeto) e posteriormente é emendado utilizando termoplásticos.

Tabela 1 — Dados de dimensionamento da correia

Informação	Medida
Tipo	Plana
Comprimento aproximado (mm)	5927,19
Largura (mm)	15
Espessura (mm)	3
Modelo sugerido	Conti PolyFlat F-15-XHP

Fonte: O autor (2020)

No apêndice A ainda podem ser encontrados os desenhos mecânicos completos e as medidas de todas as polias utilizadas.

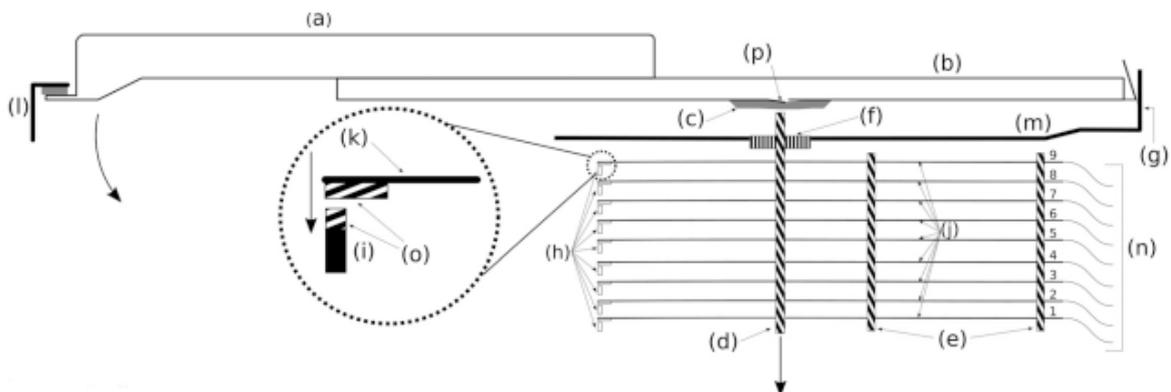
3 BLOCO ACIONAMENTO

Este capítulo trata da concepção, projeto e resultados acerca do bloco de acionamento do órgão.

3.1 CONCEPÇÃO

Originalmente, o sistema de acionamento de múltiplas chaves utilizava-se de um conjunto de barramentos metálicos de forma que quando uma tecla era pressionada, nove chaves (sete em algumas outras versões do instrumento) eram fechadas através do contato elétrico entre os barramentos (uma para cada som que a tecla podia acionar) conforme o modelo apresentado na Figura 16, proposto por Moro, McPherson e Sandler (2017).

Figura 16 — Representação esquemática do sistema de acionamento do Hammond



Fonte: Moro, McPherson e Sandler (2017)

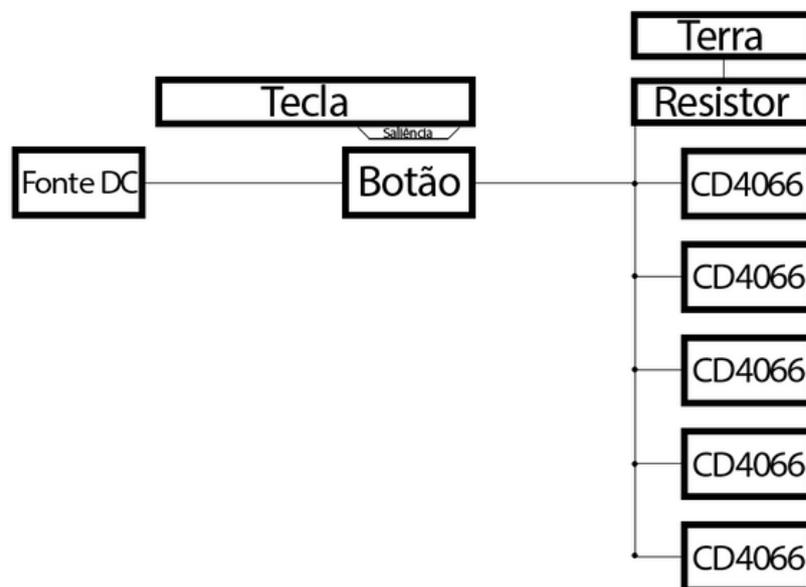
Observando a Figura 16, as setas indicam o sentido de movimentação da tecla e as letras representam os seguintes componentes:

- a. Tecla de plástico;
- b. Eixo metálico;
- c. Contato de feltro;
- d. Empurrador de contato;
- e. Suporte isolado;
- f. Espumas;
- g. Ponto pivô;

- h. Barramentos;
- i. Barramentos;
- j. Barra de contato metálica flexível;
- k. Barra de contato metálica flexível;
- l. Estrutura de suporte;
- m. Estrutura de suporte;
- n. Fios resistivos proveniente dos geradores de tons;
- o. Pontos de contato metálico;
- p. Guia ajustável.

No intuito de otimizar o sistema e tornar a construção mais leve substituindo os diversos barramentos metálicos, a proposta deste trabalho consiste na montagem de um novo sistema de acionamento baseado em um circuito integrado e cujo modelo esquemático encontra-se na Figura 17.

Figura 17 — Modelo esquemático do sistema de acionamento

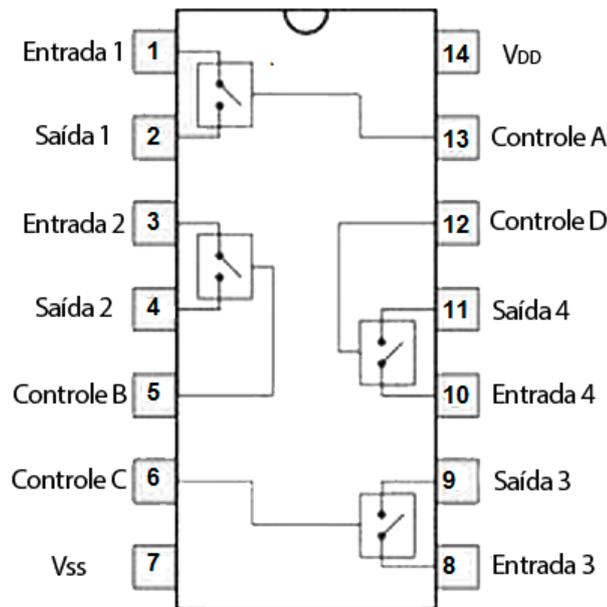


Fonte: O autor (2020)

O CI utilizado, e que será acionado através do circuito implementado é o CD4066 (Figura 18). Ele será apresentado com mais detalhes em um segundo momento (seção 5), mas em linhas gerais seu conteúdo consiste em chaves bilaterais individuais que podem ser abertas

ou fechadas dependendo do sinal enviado nos pinos de controle. E são esses pinos de controle de cada chave que estarão conectados ao circuito de acionamento, de forma que cada tecla irá acionar um mesmo número de chaves, sendo este valor correspondente ao número de *drawbars* pensadas para este modelo.

Figura 18 — Pinagem do CD4066



Fonte: Adaptado de How to Build a 4066 Quad Bilateral Switch Circuit

Cada unidade do CI contém quatro chaves com controles individuais e a principal condição para utilização é: dependendo do tipo de sinal colocado na entrada das chaves (analógico ou digital) será necessária uma configuração diferente do V_{DD} e do V_{SS} .

Dessa forma, quando a tecla é pressionada, ela também irá pressionar (através da saliência) o botão, fechando o circuito e enviando sinal de nível lógico alto para os pinos de controle de cada chave conectada. Por outro lado, quando a tecla não está pressionada o nível lógico recebido pelos pinos de controle será baixo, mantendo a chave aberta. Essa definição de níveis lógicos é alcançada através do resistor presente no circuito e que possui a função de *Pull Down*, ou seja, enviar nível lógico baixo para pinos que normalmente são entradas.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO

Como parâmetro de projeto, o órgão consistirá em um conjunto de 25 teclas sendo duas oitavas (de 12 teclas cada) e mais a primeira tecla (dó) da terceira oitava. A adoção da 25ª tecla

é devido ao costume dos instrumentos de teclas terminarem suas teclas na nota dó. As teclas podem ser adquiridas em conjuntos de oitavas ligadas fisicamente (TECLAS P/ TECLADO). Além disso, como o número de *drawbars* (ver seção 5) é cinco, cada tecla será responsável por acionar cinco pinos de controle de cinco diferentes chaves.

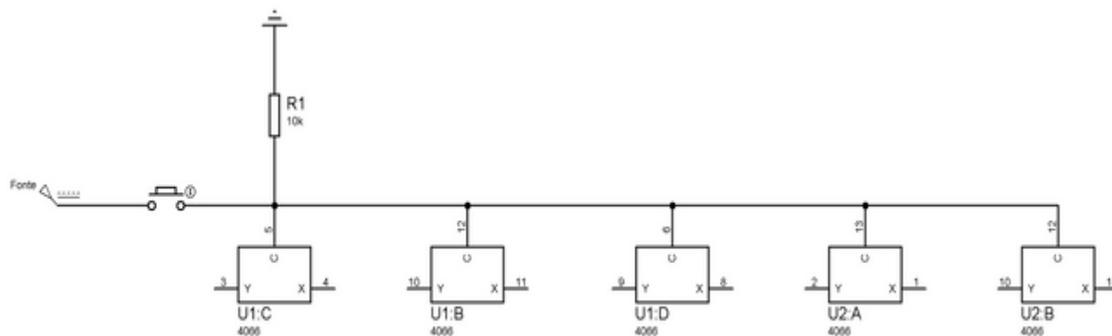
Em relação ao CD4066, como o sinal nos pinos de entrada (proveniente das *tonewheels*) será analógico, a configuração utilizada no CI será:

- $V_{DD} = 5\text{ V}$;
- $V_{SS} = \text{Terra (GND)}$;
- Resistor *pull-down*: $10\text{ k}\Omega$;
- Tensão nos controles: 5 V .

Para determinar o número de CIs utilizados calcula-se o produto entre o número de teclas e a quantidade de acionamentos que cada uma irá realizar, em seguida, divide-se por quatro (número de chaves em cada CI).

A partir destes dados, montou-se o circuito elétrico de acionamento para uma tecla (Figura 19) através do software de simulação *Proteus*.

Figura 19 — Circuito elétrico para acionamento de uma tecla



Fonte: O autor (2020)

3.3 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta a lista de quantidades de cada componente para o posterior desenvolvimento prático do sistema de acionamento.

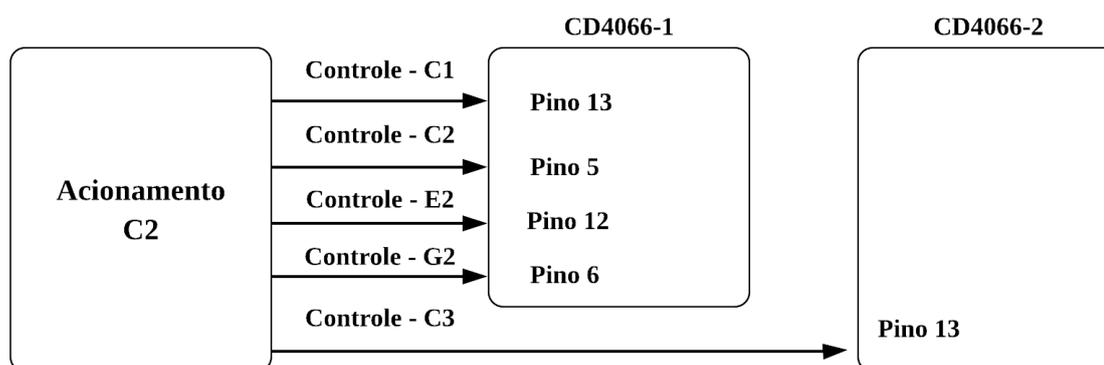
Tabela 2 — Lista de componentes - acionamento

Componente	Quantidade (em unid.)
Teclas	25
Acionamentos (por tecla)	5
Botões	25
Resistores 10 k Ω	25
CD4066	32

Fonte: O autor (2020)

Na Figura 20 é apresentado um dígrama esquemático das conexões de uma tecla (C2) com seus respectivos CIs utilizados. No apêndice B encontra-se a Tabela 12, que contém todas as informações para realizar todas as conexões (semelhantes à mostrada na Figura 20).

Figura 20 — Representação esquemática de ligação do acionamento da tecla C2 no CI



Fonte: O autor (2020)

Na Figura 21 encontra-se um exemplo de conexão física entre uma das saliências na região inferior de uma tecla do instrumento e um botão.

Figura 21 — Exemplo de posicionamento entre tecla e botão



Fonte: O autor (2020)

Para a alimentação dos CIs utiliza-se como referência o diagrama de blocos da Figura 11.

4 BLOCO TONEWHEELS

Este capítulo trata de todo o desenvolvimento e resultados obtidos sobre o bloco de gerador de tons. Como explicado em 1.3.4.3, este bloco praticamente permanece igual à construção original, visto que, manter a geração do som de forma eletromecânica é um trabalho de resgate histórico pois, apesar de não ser mais utilizado nas novas versões do Hammond (substituído por uma geração de som digital), ainda é um método conhecido e apreciado.

4.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico neste bloco é composto por um captador eletromagnético, dispositivo formado por um ímã envolto por um enrolamento feito de fios de cobre. Na saída do captador, há duas pontas: enquanto uma delas é acoplada ao terra do instrumento, a outra saída passa por um filtro passa-faixa de primeira ordem com objetivo de dar um primeiro ganho no sinal gerado, mas principalmente, filtrar possíveis ruídos advindos da vibração mecânica da própria estrutura do instrumento e frequências harmônicas naturais geradas devido a possíveis imprecisões de construção da borda da roda fônica (haja visto que a única frequência desejada na saída dos captadores é a fundamental). O sinal gerado pode alimentar diversos outros circuitos, devido à baixa impedância na saída do filtro, sendo este número relacionado à quantidade de vezes que uma determinada frequência participa ao longo de toda a extensão do instrumento (seja como nota fundamental ou como harmônica de outra nota). Por sua vez, o número de vezes que um sinal aparece ao longo da faixa de frequências do órgão está relacionado aos harmônicos escolhidos para serem controlados pelas *drawbars* (visto na seção 5).

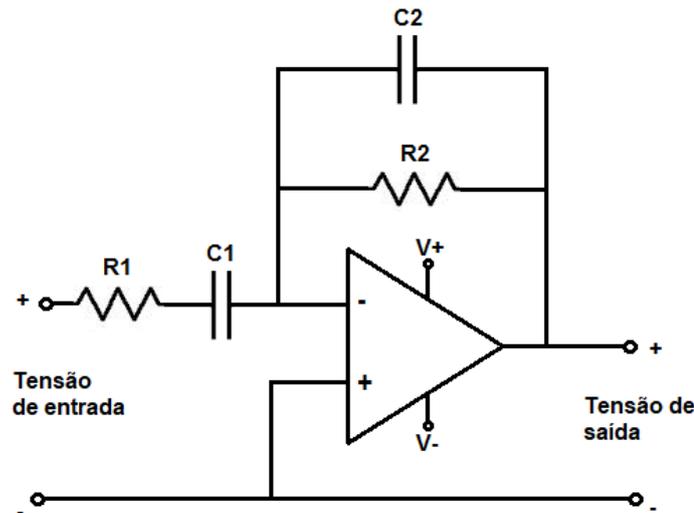
O ímã é a principal parte do captador, suas características são fatores determinantes para a sonoridade do instrumento. Comumente, encontram-se quatro tipos de ímãs no mercado: alnico³, ferrite, cobalto e neodímio, cada um com suas peculiaridades no que diz respeito à magnitude do sinal de saída, suas características do ponto de vista do som e aplicação.

O enrolamento é um tipo de bobina composta por espiras de um fio metálico e responsáveis por gerar um campo magnético. O número de voltas de uma bobina está associado a diversos fatores como tensão de saída desejada (que comumente é um valor baixo: de 0,1 V a 1 V), largura de banda pretendida ou frequência que se deseja captar.

³ Liga de ferro que contém alumínio (Al), níquel (Ni) e cobalto (Co).

Já o filtro passa-faixa (ou passa-banda) (Figura 22), é um circuito que permite a passagem de uma faixa arbitrária de frequência, rejeitando as frequências fora dessa banda. Este tipo de filtro pode ser obtido através da combinação entre um filtro passa-alta e um filtro passa-baixa. O elemento ativo deste circuito é o amplificador operacional (AmpOp), amplificador com duas entradas (não inversora positiva e inversora negativa), um ganho muito elevado e utilizado em diversas aplicações como o filtro, por exemplo.

Figura 22— Filtro passa-faixa ativo de primeira ordem



Fonte: Calculadora de Filtro Passa-Banda – Aprender Sobre Electrónica

Utilizando a Figura 22 como referência, o resistor R1 e o capacitor C1 formam o filtro passa-alta, e são eles que determinam o valor da frequência de corte inferior (3), enquanto o resistor R2 e o capacitor C2 formam o filtro passa-baixa e determinam o valor da frequência de corte superior (4).

$$f_{OL} = \frac{1}{2*\pi*R1*C1} \quad (3)$$

$$f_{OH} = \frac{1}{2*\pi*R2*C2} \quad (4)$$

O ganho do circuito é determinado por (5):

$$A_{vmax} = -\frac{R2}{R1} \quad (5)$$

4.2 CONCEPÇÃO DO SISTEMA MECÂNICO

A parte mecânica do gerador de sons, é onde se encontra a maior parte das mudanças. Primeiramente, a disposição das rodas fônicas no instrumento segue um novo padrão: um eixo linear retificado, disponível no mercado (EIXO LINEAR), para cada uma das doze notas musicais (Dó a Si) e em cada eixo conterà as rodas fônicas de cada nota nas diferentes oitavas do instrumento. Para exemplificar: se o órgão possui cinco oitavas, entre físicas (aquelas cuja frequência fundamental pode ser acionada através do teclado) e virtuais (só podem ser alcançadas através das *drawbars*), ele possuirá cinco notas Lá (A) de cinco oitavas diferentes, logo, serão cinco rodas fônicas presas ao eixo respectivo da nota.

Para a produção da roda fônica, foi necessário encontrar uma forma para que a borda de cada unidade tivesse um perfil ondulado. Seguindo esta premissa, utilizou-se da equação (6) para caracterizar a borda na estrutura desejada.

$$r(\beta) = \bar{r} + a_j \cos(k\beta) \quad (6)$$

Onde:

- r = comprimento do vetor no sistema de coordenadas polares;
- β = ângulo do vetor no sistema de coordenadas polares;
- \bar{r} = raio médio da roda fônica;
- k = número de lóbulos;
- a_j = amplitude do lóbulo;

4.3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ELÉTRICO

Para este projeto, decidiu-se pelo desenvolvimento de um captador de dimensões únicas para todo o conjunto. O ímã escolhido foi um modelo comercial de alnico (ÍMÃ DE ALNICO EM PINOS), onde posiciona-se um carretel (projetado através de impressão 3D) e nele enrolase uma bobina de fio de cobre AWG 44 com 16000 voltas. Esse número de voltas era o máximo valor inteiro para preencher todo o carretel e, ao mesmo tempo, garantir uma resistência do captador próxima a um modelo *single-coil* de uma guitarra (STEWART-MACDONALD).

Dessa forma garante-se que toda a faixa de frequências utilizadas no projeto será coberta pelo instrumento.

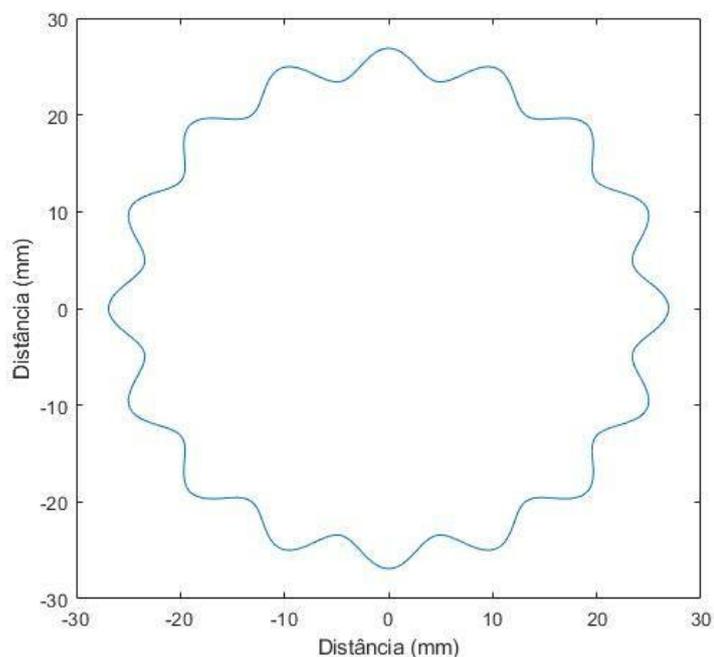
A distância da ponta do captador para a roda fônica é um fator que contribui na tensão de saída da bobina, por isso a sugestão de projeto é que essa distância possa ser regulável, para que possa ser ajustada conforme a necessidade.

Para a montagem do filtro passa-faixa deve-se definir as frequências de corte (inferior e superior) para cada roda fônica e escolher um par de resistores R1 e R2 de acordo com o ganho desejado (observando que ainda há outros estágios de ganho de sinal no instrumento). Aplicando as equações (3) e (4), encontra-se o par de capacitores C1 e C2 para cada filtro projetado.

4.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA MECÂNICO

Com a equação (6) em mãos, foi necessário desenvolver o modelo para produção da peça. Primeiramente, com ajuda do *software Matlab*, um algoritmo da equação (6) foi implementado para gerar o conjunto de pontos que formam a roda fônica. A Figura 23, apresenta o modelo plotado do algoritmo, presente no apêndice C, para a roda fônica de dezesseis lóbulos.

Figura 23 — Modelo matemático da roda fônica de dezesseis lóbulos



Fonte: O autor (2019)

Cada oitava do instrumento possui um conjunto de rodas fônicas com um número de lóbulos diferentes, de forma que as rodas da próxima oitava sempre terão o dobro de lóbulos das rodas da oitava anterior. Como o eixo que prende as rodas gira com velocidade constante e as polias calculadas no bloco 1 tiveram como referência as frequências do primeiro conjunto de discos (quatro lóbulos), o disco com o dobro de lóbulos, conseqüentemente, terá uma frequência dobrada em relação ao conjunto anterior.

Com os pontos gerados, estes foram importados ao *software* de CAD *Inventor* para que o modelo mecânico da peça pudesse ser elaborado. A Figura 24 mostra o desenho da peça projetada no CAD (já contendo o furo que será usado para prendê-la ao eixo).

Figura 24 — Modelo mecânico da roda fônica de dezesseis lóbulos



Fonte: O autor (2019)

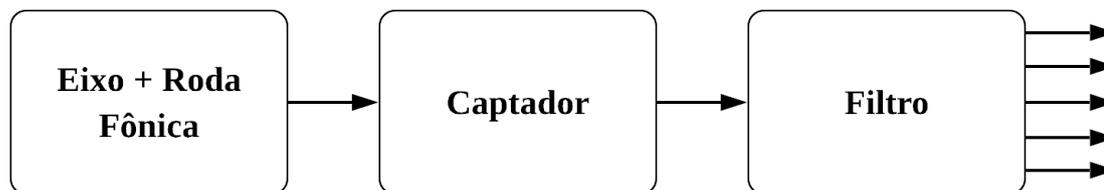
Para fixação da roda fônica no eixo, fez-se um pequeno rasgo no furo central da roda e colocou-se um anel de vedação (o-ring) de forma que o disco ficasse fixo no eixo, impedindo a rotação relativa entre os dois elementos. Algumas outras formas de fixação podem ser utilizadas no processo, observando sempre que a fixação deve gerar a menor vibração possível, para não influenciar no som produzido.

4.5 RESULTADOS

Para validar as informações concebidas, realizou-se uma prova de conceito com o desenvolvimento de uma *Tonewheel* contendo apenas uma roda fônica, presa a um eixo linear, conectado a um motor DC (com controle PWM) através de um acoplamento.

A Figura 25 apresenta um esquemático da ordem das peças utilizadas no modelo prático.

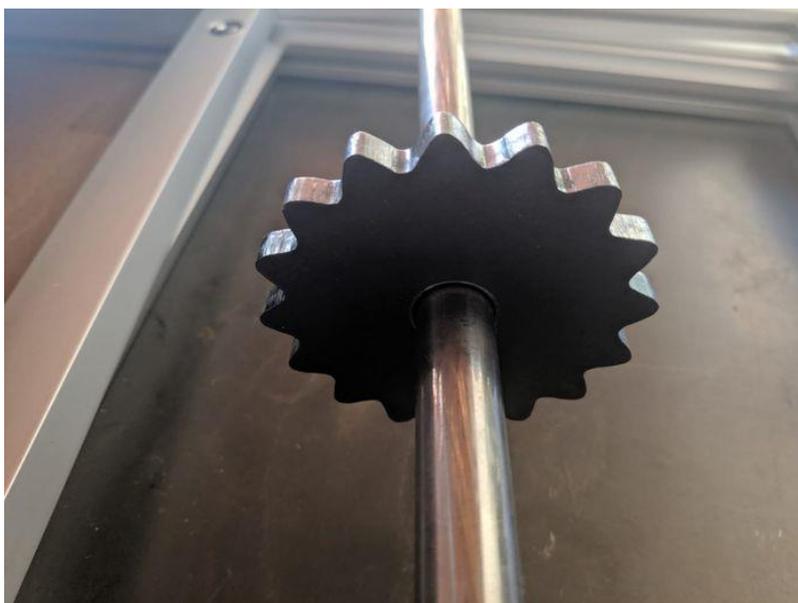
Figura 25 — Representação esquemática de um gerador de tons com 5 sinais saídas



Fonte: O autor (2020)

A fabricação da roda foi realizada através do processo de usinagem via corte a laser, garantindo uma maior precisão na construção, principalmente dos lóbulos. A Figura 26 mostra a roda projetada (de 16 lóbulos) já presa ao eixo através de um o-ring.

Figura 26 — Roda fônica de 16 lóbulos presa ao eixo linear



Fonte: O autor (2019)

No apêndice C, encontram-se os desenhos mecânicos das diferentes rodas fônicas, necessárias para o projeto completo do instrumento, do carretel de plástico para a bobina, além das dimensões do eixo retificado, podendo ser alterado sem comprometer o desempenho do sistema. Encontra-se também a Tabela 13, que contém os seguintes dados referentes à cada roda fônica: sua respectiva oitava, a frequência teórica gerada pelo captador (de acordo com a escala igualmente temperada) e o número de lóbulos.

Tabela 3 — Dados de projeto - captador

Item	Especificação
Ímã	Alnico 18 mm(L) x 5 mm (D)
Bobina	44 AWG 16.000 voltas
Frequência máxima alcançada	1 kHz (aproximadamente)

Fonte: O autor (2020)

Com o captador e a roda fônica projetados, o modelo para a prova de conceito foi montado e testes foram realizados tanto do ponto de vista musical quanto da medição do sinal gerado. Na Figura 27 pode-se notar o disco em movimento, o captador (ao fundo), o motor DC conectado ao eixo através de um acoplamento flexível e a utilização de um mancal com rolamento para sustentar o eixo.

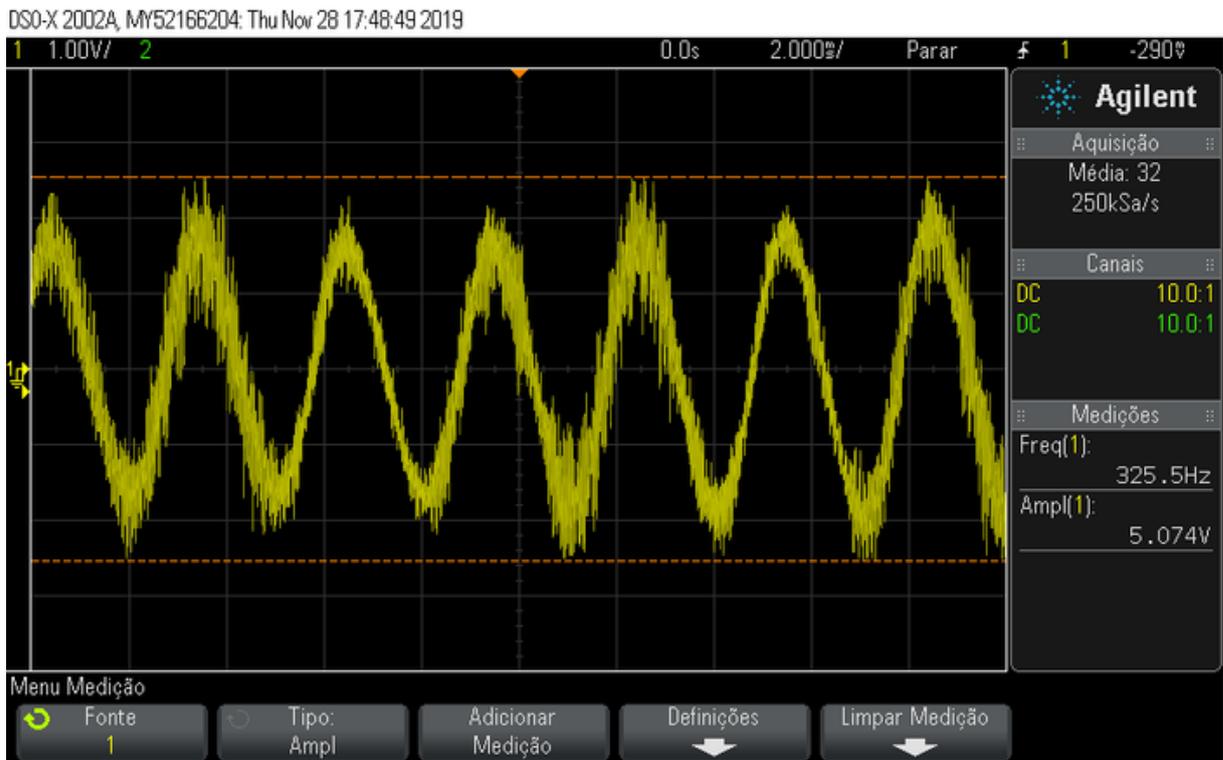
Figura 27 — Conjunto de roda fônica e captador em um modelo de gerador de tons



Fonte: O autor (2019)

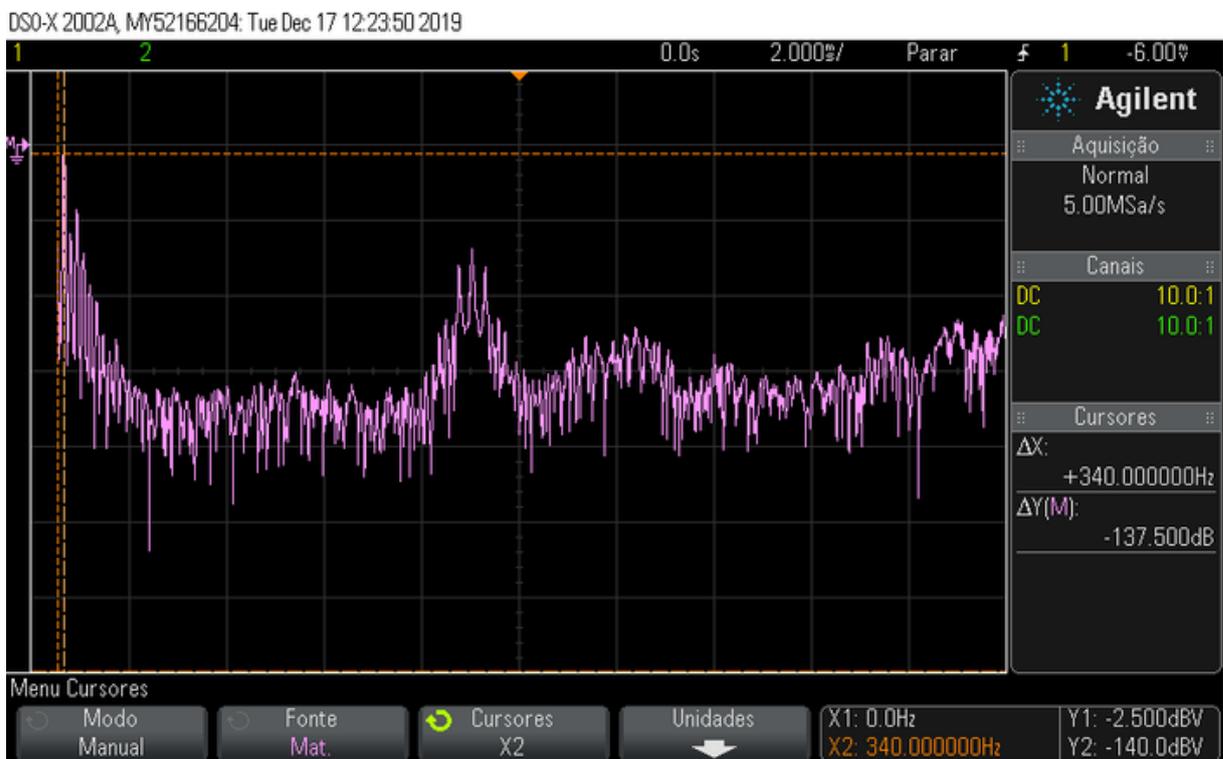
Com a roda projetada, escolheu-se a frequência de 330 Hz para validar a construção do modelo. Utilizando o osciloscópio mediu-se a saída do captador e obteve-se a forma de onda, a frequência e a tensão de saída, apresentados na Figura 28. Já a Figura 29 apresenta a transformada de Fourier do mesmo sinal apresentado na Figura anterior.

Figura 28 — Resultados da medição da prova de conceito do gerador de tom



Fonte: O autor (2019)

Figura 29 — Transformada de Fourier para sinal de 330 Hz gerado pelo modelo construído



Fonte: O autor (2019)

Pode-se observar na Figura 29 que a transformada apresenta dois pulsos: o primeiro (marcado pelo cursor do osciloscópio) apresenta uma frequência de 340 Hz, valor com precisão de 96,9% em relação ao valor teórico (aproximadamente 329,63 Hz). O segundo, apresentado no centro da Figura é um sinal interferente, causado pela vibração mecânica (do motor e da estrutura do modelo) ou uma harmônica produzida pela imprecisão da construção da roda fônica, que, na ausência de um filtro, acabam sendo amplificados e comprometendo o sinal de saída.

O último item a ser apresentado são os dados de projeto dos filtros passa-faixa. Para tanto, baseado nos valores das frequências da Tabela 13, tem-se os seguintes parâmetros de projeto:

- Tensão de saída do captador: 1 V (valor estimado com base em captadores comerciais);
- $R1 = 1 \text{ k}\Omega$;
- $R2 = 4,7 \text{ k}\Omega$;
- $A_v = - (R2/R1) = -4,7$; (negativo pois o sinal de saída está invertido, defasado 180 graus, do sinal de entrada);

Além disso, as frequências de corte (inferior e superior) foram definidas de forma que, com a escolha de capacitores comerciais, a variação do ganho não fosse superior a $\pm 0,5 \text{ dB}$.

Os valores dos capacitores escolhidos e do número de saídas para cada nota (com a codificação alfanumérica para auxiliar na montagem) encontram-se na Tabela 14 no apêndice C.

5 BLOCO DRAWBARS

Este capítulo trata da concepção e desenvolvimento do bloco das *drawbars*. Neste bloco é onde contém a maior proposta de diferenciação para com o projeto original. E para maior compreensão do bloco é necessário o conhecimento dos intervalos musicais, pois eles são fundamentais para justificar as escolhas das *drawbars*.

Um intervalo musical, segundo o livro Harmonia Funcional (ALMADA, 2012, p. 19), é a medida de distância entre dois sons, e para a harmonia de uma composição, os intervalos são partes cruciais neste processo.

Para classificar um intervalo musical, uma das maneiras mais simples é a partir dos nomes das notas e suas distâncias. Na escala dó-ré-mi-fá-sol-lá-si, a distância entre dó e mi, por exemplo, é três, recebendo o nome de intervalo de terça. É preciso observar que isto é uma simplificação, haja visto que necessita um refinamento da distância para definir completamente um intervalo (chamado de qualidade intervalar).

Ainda segundo Almada (2012, p. 21), um segundo método de classificação dos intervalos e base para o órgão é: intervalos consonantes e dissonantes. Do ponto de vista musical, um intervalo consonante é aquele que causa a sensação de finalização, estabilidade, repouso para quem ouve. Já o intervalo dissonante causa a sensação de angústia, desconforto, necessidade de resolução e instabilidade. Esse método, além de não ser uma regra (já que em qualquer composição há um equilíbrio dos diferentes intervalos), sofreu com diversas mudanças ao longo dos séculos devido às questões culturais e religiosas do período. Apesar disso, atualmente, o consenso define que:

- Intervalos consonantes: terça, quinta, sexta e oitava;
- Intervalos dissonantes: segunda, sétima;
- Intervalos ambíguos (depende do contexto): quarta;

Justamente são os intervalos consonantes que formam as *drawbars* tanto da construção original quanto no projeto proposto, levando a quem ouve o som as sensações descritas anteriormente e facilitando no processo de montagem de acordes e sons mais complexos e ricos em harmonia.

5.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Segundo Wiltshire (2008), um dos grandes desafios ao copiar o Hammond está na quantidade de acionamentos múltiplos e conexões que devem ser realizadas para garantir a diversidade na geração de timbres. Para tanto, o objetivo da diferenciação proposta está em garantir a mesma possibilidade de timbres, através do mesmo conceito de "proporções sonoras", com uma otimização utilizando materiais disponíveis na atualidade.

Neste cenário, uma forma encontrada para fazer o controle e acionamento de múltiplas chaves é através do circuito integrado CD4066, mostrado na Figura 18. Este circuito integrado, por ser uma chave de acionamento controlado que suporta sinais analógicos, pode substituir toda a estrutura de barramentos metálicos que transmitem a corrente gerada nas *tonewheels*. Assim, quando uma tecla for pressionada, ela irá acionar o controle de cinco diferentes chaves (mesmo número de *drawbars* definidas neste projeto), cada uma responsável por uma saída dos filtros mostrados no bloco 3.

A segunda parte do bloco consiste em controlar o volume de cada harmônico que uma tecla pode acionar, de modo que as diferentes proporções resultem em um timbre único. Como cada tecla pode acionar cinco diferentes harmônicos e eles não podem se subtrair e nem se anular, devido a premissa de construção cinco, apresentada em 1.3.1, é necessário desenvolver um método onde os harmônicos com mesmo intervalo se somem e possam ter seu volume controlado por uma respectiva *drawbar*, resultando na seguinte divisão.

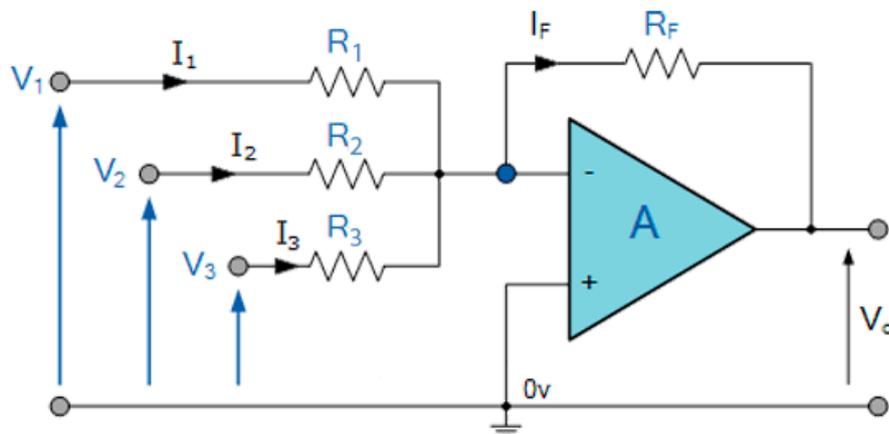
- 1º *drawbar* = todos os harmônicos cujo intervalo para a fundamental é de uma oitava abaixo (metade da frequência);
- 2º *drawbar* = todas as frequências fundamentais acionadas pelo teclado;
- 3º *drawbar* = todos os harmônicos cujo intervalo para a fundamental é de uma terça;
- 4º *drawbar* = todos os harmônicos cujo intervalo para a fundamental é de uma quinta;
- 5º *drawbar* = todos os harmônicos cujo intervalo para a fundamental é de uma oitava acima (dobro da frequência).

É válido observar que a proposta de projeto é reduzida em relação ao Hammond, mas passível de expansão se seguir a mesma lógica e determinar novos intervalos musicais. A partir desta concepção, o número máximo de sinais que cada *drawbar* receberá é igual ao número de

teclas do instrumento, que neste caso será 25. Sendo assim, a melhor forma de somar todos estes sinais e poder controlar seus volumes é através de um amplificador somador.

Um amplificador somador, segundo o material Amplificadores Operacionais (2010), é uma configuração utilizando AmpOp onde é possível somar algebricamente n tensões de entrada, cada uma multiplicada por um fator de ganho constante. A Figura 30 mostra um modelo genérico de um amplificador somador na configuração inversora com três entradas.

Figura 30 — Amplificador somador genérico



Fonte: Adaptado de Operational Amplifiers: The Summing Amplifier

A saída V_o (medida em volts e com sinal negativo por ser um amplificador inversor) do amplificador é determinada por:

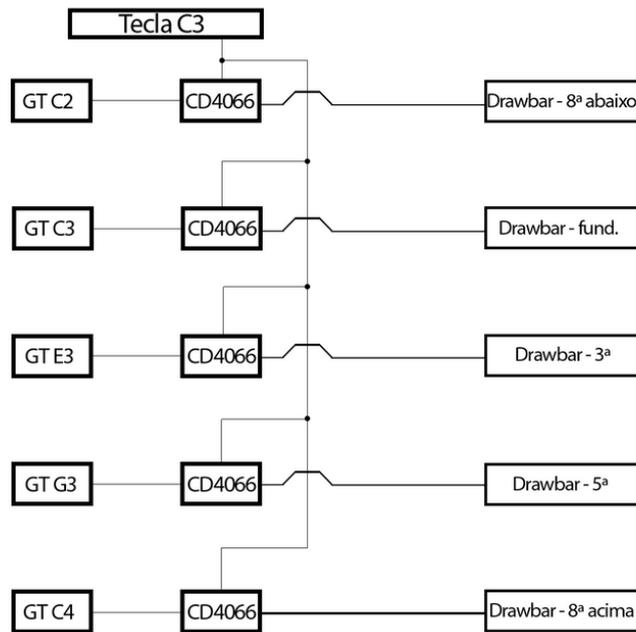
$$V_o = - \left(\frac{R_f}{R_1} * V_1 + \frac{R_f}{R_2} * V_2 + \frac{R_f}{R_3} * V_3 \right) \quad (7)$$

Para este projeto, devido ao caráter de somar os sinais de entrada, o amplificador somador terá uma aplicação de misturador (*mixer*) e ganho unitário ($R_f = R_1 = R_n$, assim como todos os outros misturadores).

5.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE DRAWBARS

Como forma de introduzir o desenvolvimento do bloco, a Figura 31 mostra um modelo esquemático do sistema descrito na seção 5.1.

Figura 31 — Diagrama de blocos para o sistema de drawbars (1 tecla)

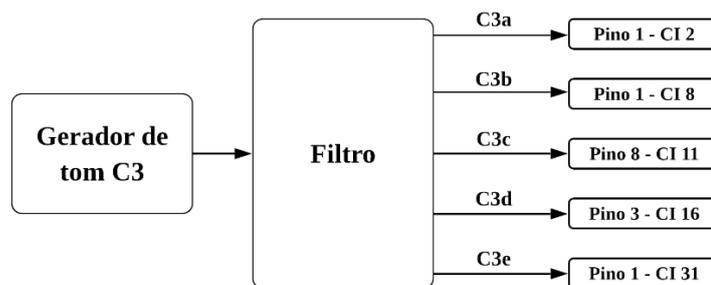


Fonte: O autor (2020)

A Figura 31 é uma representação para o acionamento de uma tecla (Dó 3). Cada GT (gerador de tom) envia o sinal constantemente para o CD4066, mas só é transmitido até as *drawbars* quando a tecla é pressionada.

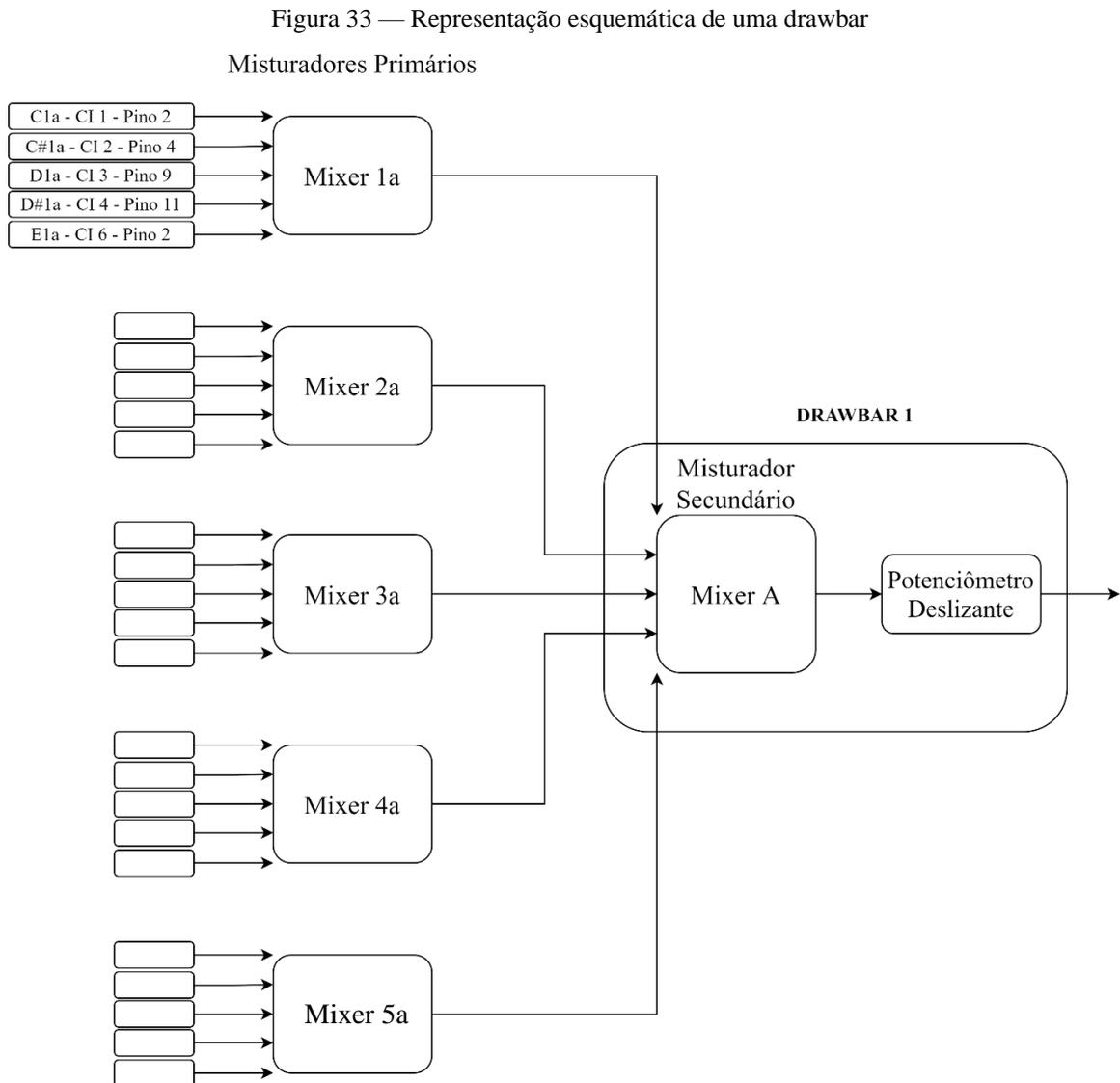
A Figura 32 apresenta uma visão micro da primeira parte da Figura 31: a conexão entre a saída dos geradores de tons (codificados na Tabela 8) e a entrada do CD 4066.

Figura 32 — Representação esquemática da conexão entre as saídas de um gerador de tom e os CIs CD4066



Fonte: O autor (2020)

Já na Figura 33 é apresentado o esquema de conexão resumido da segunda parte da Figura 32 para a primeira *drawbar* (já que as outras quatro são semelhantes).



Fonte: O autor (2020)

Observando a Figura 33, percebe-se que, para poder somar os 25 sons de mesma classe harmônica, subdivide-se as entradas em cinco grupos de cinco sinais, os quais são somados (por um amplificador somador), e suas saídas, posteriormente, passam por um segundo estágio de mistura onde posiciona-se o potenciômetro deslizante, de forma a possibilitar controlar o volume de todos os 25 sinais iniciais ao mesmo tempo.

5.3 RESULTADOS

Os resultados deste bloco são um conjunto de informações necessárias para desenvolvimento futuro do instrumento.

A Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam o conjunto de harmônicos relacionados à sua respectiva tecla (nota fundamental) e para qual *drawbar* o sinal será direcionado. Enquanto a Tabela 4 apresenta os dados para a primeira oitava física do instrumento, a Tabela 5 apresenta os dados para a segunda oitava física e a última tecla (início da terceira oitava).

Tabela 4 — Conjunto de harmônicos de cada tecla (1ª oitava física)

Teclado	C2	C#2	D2	D#2	E2	F2	F#2	G2	G#2	A2	A#2	B2
Drawbar												
1	C1	C#1	D1	D#1	E1	F1	F#1	G1	G#1	A1	A#1	B1
2	C2	C#2	D2	D#2	E2	F2	F#2	G2	G#2	A2	A#2	B2
3	E2	F2	F#2	G2	G#2	A2	A#2	B2	C3	C#3	D3	D#3
4	G2	G#2	A2	A#2	B2	C3	C#3	D3	D#3	E3	F3	F#3
5	C3	C#3	D3	D#3	E3	F3	F#3	G3	G#3	A3	A#3	B3

Fonte: O autor (2020)

Tabela 5 — Conjunto de harmônicos de cada tecla (2ª oitava física)

Teclado	C3	C#3	D3	D#3	E3	F3	F#3	G3	G#3	A3	A#3	B3	C4
Drawbar													
1	C2	C#2	D2	D#2	E2	F2	F#2	G2	G#2	A2	A#2	B2	C3
2	C3	C#3	D3	D#3	E3	F3	F#3	G3	G#3	A3	A#3	B3	C4
3	E3	F3	F#3	G3	G#3	A3	A#3	B3	C4	C#4	D4	D#4	E4
4	G3	G#3	A3	A#3	B3	C4	C#4	D4	D#4	E4	F4	F#4	G4
5	C4	C#4	D4	D#4	E4	F4	F#4	G4	G#4	A4	A#4	B4	C5

Fonte: O autor (2020)

Como visto em 3.1 cada unidade do CD4066 possui quatro chaves com controles independentes, implicando que cada CI receberá até quatro sinais provenientes da saída dos filtros de cada gerador de tom. No apêndice D, encontra-se Tabela 15 que apresenta a divisão

dos sinais de entrada entre os circuitos integrados e seus pinos e a Tabela 16, que apresenta os sinais de saída e seus respectivos pinos.

As Tabelas 17, 18, 19, 20 e 21 (ainda no apêndice D), apresentam respectivamente, os grupos de sinais que compõem os misturadores primários das *drawbars* A, B, C, D e E e seus respectivos capacitores. Por último, a Tabela 6 apresenta o conjunto de componentes necessários para uma posterior elaboração prática, de acordo com os parâmetros definidos neste TCC.

Tabela 6 — Tabela de componentes para desenvolvimento futuro

Componente	Quantidades	Observação
Potenciômetro deslizante	5	<i>Drawbar</i>
Resistores 10 k Ω	180	Para os sinais de entrada e a realimentação dos misturadores primário e secundário
CI LM833N ou similar	30	CI indicado para aplicações de áudio por ter um baixo nível de ruído
CD4066	32	
Capacitores (de entrada e saída) dos misturadores primários	55	Valores no apêndice D
Capacitores de entrada dos misturadores secundários (C1) Cinco capacitores por <i>drawbar</i>	25	<i>Drawbar</i> A: 1 uF <i>Drawbar</i> B: 0,47 uF <i>Drawbar</i> C: 0,39 uF <i>Drawbar</i> D: 0,33 uF <i>Drawbar</i> E: 0,27 uF
Capacitores de saída dos misturadores secundários (C2)	5	<i>Drawbar</i> A: 18 nF <i>Drawbar</i> B: 6,8 nF <i>Drawbar</i> C: 5,6 nF <i>Drawbar</i> D: 4,7 nF <i>Drawbar</i> E: 3,9 nF

Fonte: O autor (2020)

6 BLOCO AMPLIFICAÇÃO E EMISSÃO

Este capítulo trata do último bloco desenvolvido no projeto: amplificação dos sinais recebidos e emissão via alto falantes.

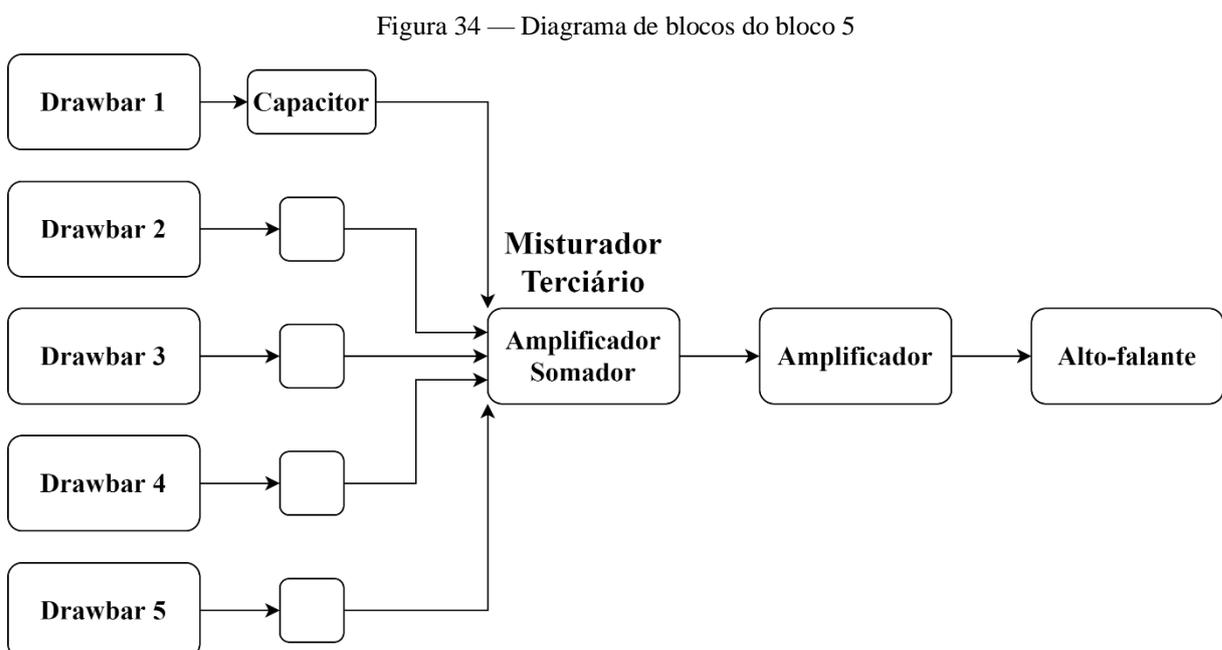
6.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

Como abordado na introdução deste trabalho, o foco de desenvolvimento e inovação encontra-se principalmente nas *drawbars* e o resgate histórico no método de geração de som. Sendo assim, a ideia é desenvolver um misturador simples, que junte os sinais provenientes das saídas das *drawbars* e forneça o ganho necessário para que possa ser transmitido e, em seguida, ouvido.

Neste contexto faz-se novamente o uso do amplificador somador, pois será necessário realizar a soma de cinco sinais originários das *drawbars*.

6.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE AMPLIFICAÇÃO E EMISSÃO

Como forma de introduzir o desenvolvimento do bloco, a Figura 34 mostra um diagrama de blocos do sistema descrito na seção 6.1.



Fonte: O autor (2020)

Os sinais de saída de cada *drawbar* passam novamente por um capacitor (C1) com a função de filtrar sinais indesejados, por resistores de entrada e chegam ao misturador terciário (cujo ganho também é unitário). O sinal de saída passa pelo segundo capacitor (C2) e enfim torna-se disponível para o último estágio: amplificação e emissão.

6.3 RESULTADOS

A Tabela 7 contém a relação de componentes necessários para uma futura montagem do bloco 5 a partir do mesmo parâmetro de ganho unitário dos outros misturadores.

Tabela 7 — Componentes necessários para posterior montagem do bloco 5

Componente	Quantidade
Amplificador Operacional (Mist. Terciário) LM833 ou similar	1
Resistores de entrada e realimentação (Misturador Terciário) 10 k Ω	6
Capacitores 1,2 μ F (sinais de entrada do mist. Terciário) C1	5
Capacitores 2,7 nF (sinal de saída do mist. Terciário) C2	1

Fonte: O autor (2020)

A escolha do amplificador e do(s) alto-falante(s) fica a critério do projetista em um futuro desenvolvimento, de acordo com suas necessidades e objetivos. Vale apenas observar que os equipamentos devem possuir uma resposta em frequência que percorra todo o espectro sonoro humano (20 Hz a 20 kHz).

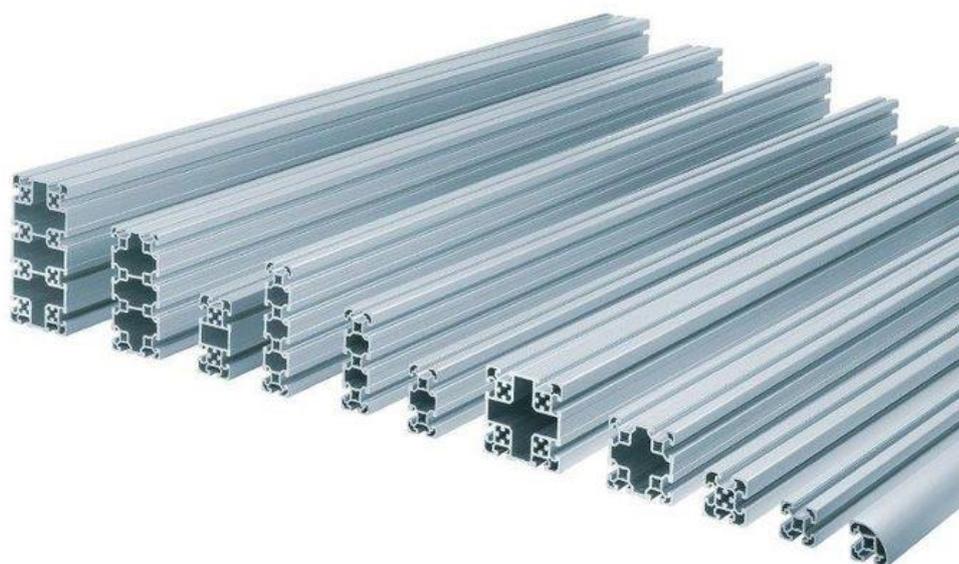
7 INTEGRAÇÃO DOS BLOCOS E OBSERVAÇÕES

Para manter todos os blocos conectados, algumas estruturas são necessárias, e esta seção é responsável por apresentar a concepção do projeto.

7.1 ESTRUTURA EXTERNA

Primeiramente, a estrutura externa do instrumento foi pensada de forma a garantir um aspecto de modularidade ao projeto, devido ao seu caráter não definitivo e acadêmico. Por isso utilizou-se perfis de alumínio, exemplificados na Figura 35 para montar a carcaça. Além das características citadas, outros fatores que qualificam a escolha deste material é seu custo mediano, sua alta durabilidade, fácil montagem e leveza.

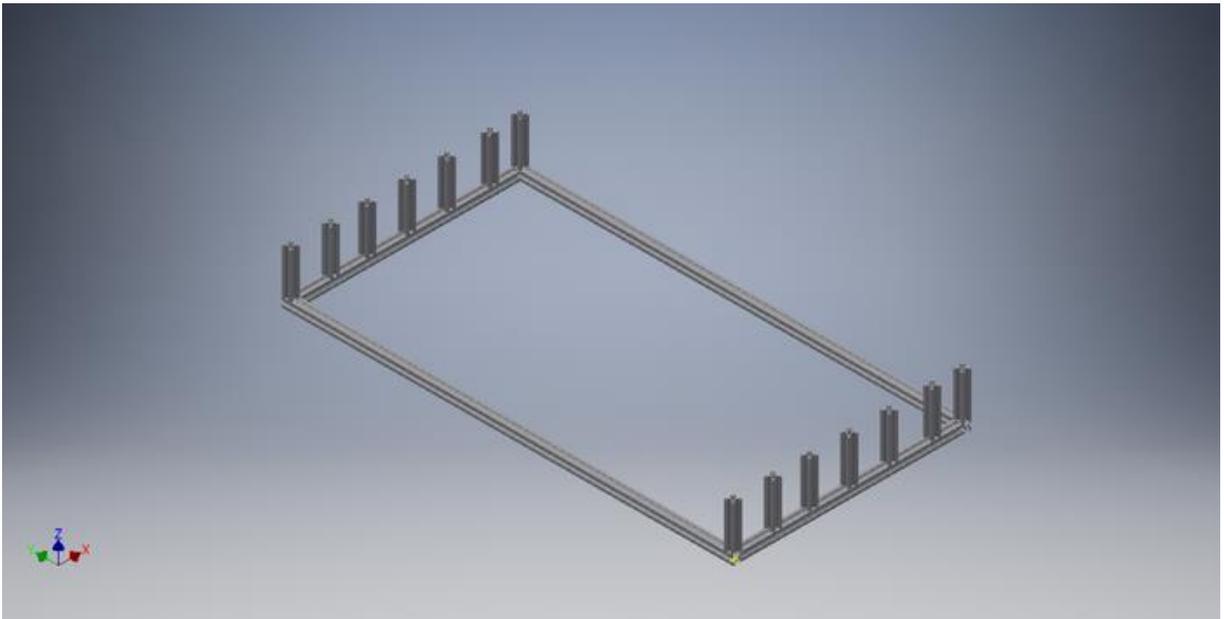
Figura 35 — Exemplo de perfis de alumínio



Fonte: Perfil de alumínio estrutural – Ecos Engenharia

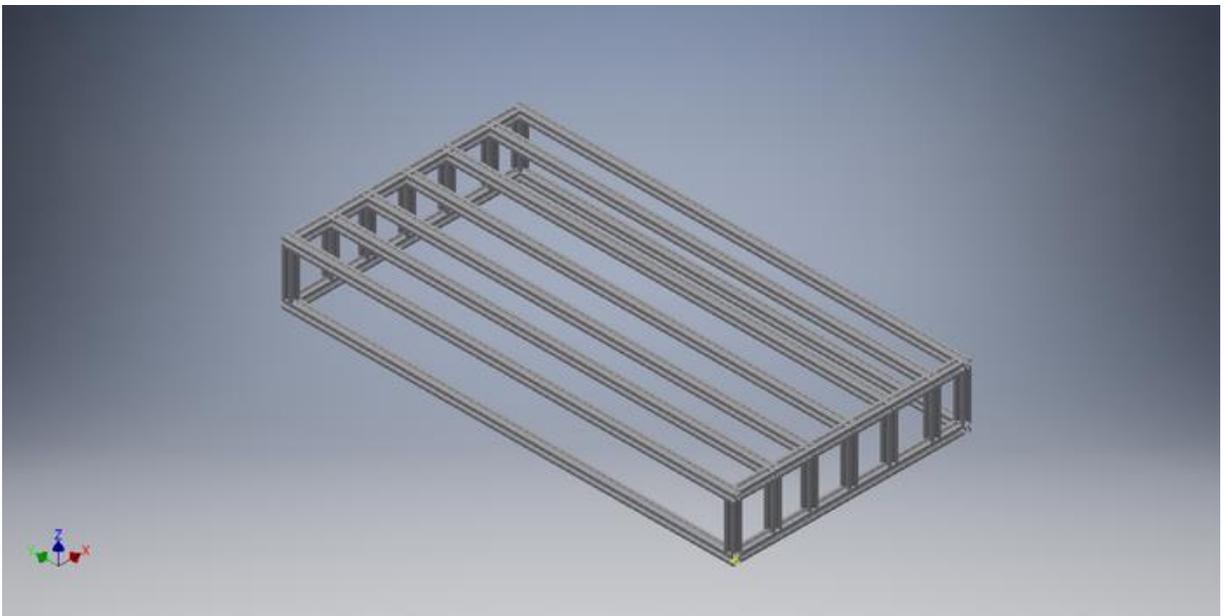
Projetou-se dois andares iguais com estruturas de suporte nas laterais e no meio deles um conjunto de cinco barras perpendiculares para que possam servir de suporte para os captadores. A Figura 36, 37 e 38 apresentam respectivamente a estrutura pensada para o primeiro andar, as barras perpendiculares e a estrutura completa, todas desenvolvidas no *software* de CAD *Inventor*.

Figura 36 — Estrutura externa em 3D - base



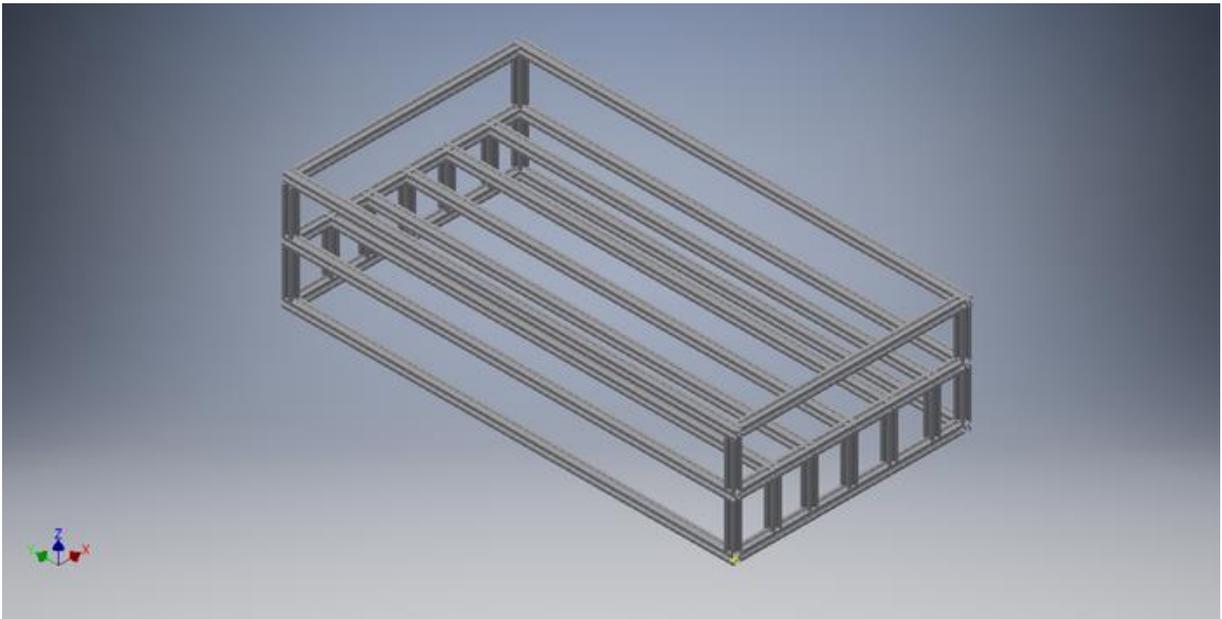
Fonte: O autor (2020)

Figura 37 — Estrutura externa em 3D - base mais as barras de apoio dos captadores



Fonte: O autor (2020)

Figura 38 — Estrutura externa em 3D - completa



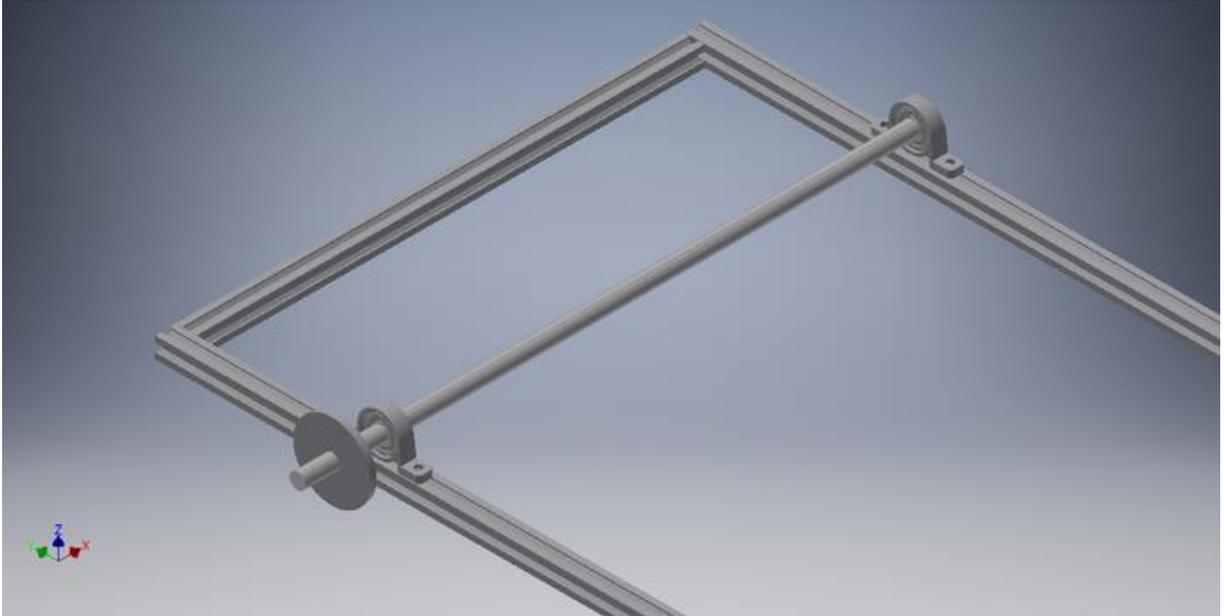
Fonte: O autor (2020)

O desenho técnico do perfil utilizado se encontra no anexo E enquanto as medidas da estrutura estão localizadas no apêndice E.

7.2 INTEGRAÇÃO ENTRE EIXOS, POLIAS E CARÇAÇA

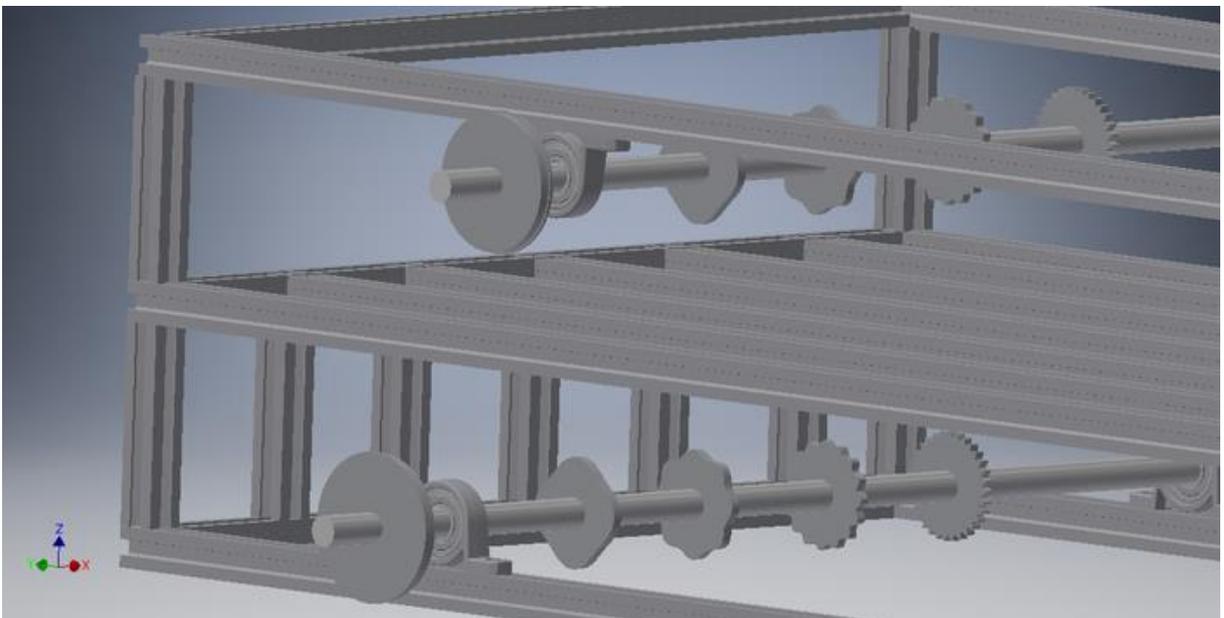
Para realizar a integração entre os eixos que sustentam as rodas fônicas, as polias movidas e a estrutura apresentada na seção 7.1 é necessária uma peça de forma a garantir a movimentação dos elementos envolvidos e que possa ser fixada com rigidez na carcaça. Assim, pensou-se no uso de mancais com rolamentos (fixos na estrutura através de parafusos) de forma que os eixos retificados ficassem fixos nos rolamentos enquanto as polias movidas ficam conectadas aos eixos, conforme mostrado na Figura 39. Já a Figura 40 mostra a disposição de um mancal localizado no primeiro andar da estrutura e um mancal localizado no andar superior.

Figura 39 — Montagem de integração entre a carcaça, a polia movida (com aba) e o eixo retificado utilizando mancal com rolamento



Fonte: O autor (2020)

Figura 40 — Disposição de dois conjuntos de eixo, mancal e polia movida



Fonte: O autor (2020)

A fixação dos mancais na estrutura se dá por meio de parafuso, enquanto a fixação da polia movida com cada eixo e a polia motora com o motor se dá por meio de encaixe de interferência. O desenho mecânico completo se encontra no anexo C.

7.3 RODAS FÔNICAS E CAPTADORES

Como explicado na seção 4, a conexão entre a roda fônica e o eixo se dá por meio da realização de um rasgo interno em cada disco e o encaixe de um anel de vedação. As rodas fônicas se distanciam igualmente umas das outras e permanecem alinhadas às estruturas centrais onde são fixados os captadores.

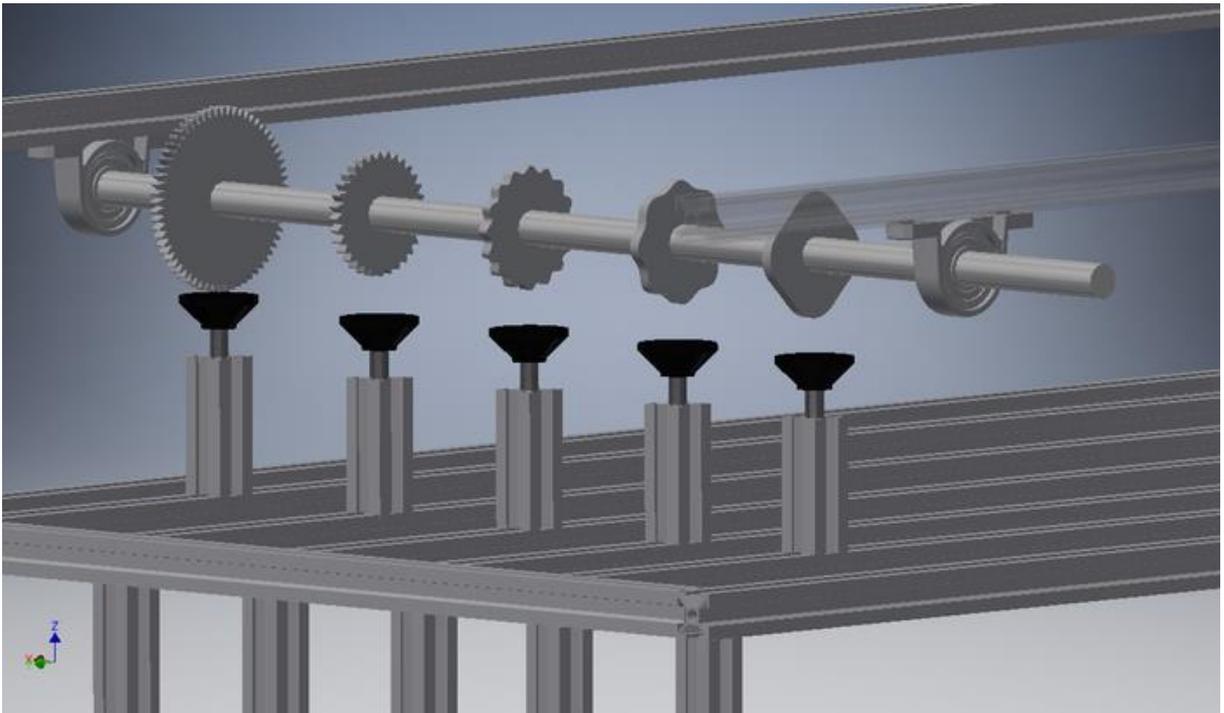
Os captadores, por sua vez, são presos em pés de nivelamento (Figura 41) através de fixações por cola ou por parafusos. Estes pés então são rosqueados em novos perfis de alumínio que são presos na estrutura metálica alinhados com cada roda fônica. A distância entre a ponta do ímã e a borda do disco, dessa forma, pode ser ajustada através do pé, de forma a garantir uma distância cuja tensão de saída na bobina possa ser próxima ao valor projetado. A Figura 42 apresenta uma proposta de montagem para os pés de nivelamento para um conjunto de rodas fônicas. No anexo D, encontra-se o desenho técnico com a medida projetada

Figura 41 — Pé de nivelamento



Fonte: Pé de máquina – Direct Industry

Figura 42 — Proposta de montagem da estrutura de suporte dos captadores



Fonte: O autor (2020)

Tabela 8 — Componentes necessários para a montagem da estrutura

Componente	Aplicação	Quantidade
Pés niveladores	Conexão com captador	49
Perfil de alumínio 60 mm	Conexão com pé nivelador	49
Perfil de alumínio 1400 mm	Face maior	6
Perfil de alumínio 488 mm	Face menor	6
Perfil de alumínio 1360 mm	Suporte dos pés niveladores	5
Perfil de alumínio 150 mm	Altura do instrumento	18
Mancal	Sustentação dos eixos	28

Fonte: O autor (2020)

8 CONCLUSÃO

Diante o trabalho apresentado, esta monografia, estruturada em três pilares previamente estabelecidos, alcança os objetivos traçados. O primeiro pilar, da proposta de projeto, é sustentado pelo conjunto de informações concebidas e desenvolvidas ao longo do processo de forma que, em uma futura implementação, este material torna-se um ambiente de aprendizado e guia de desenvolvimento do protótipo do órgão musical. O protótipo sugerido possui diversos pontos de evolução e a flexibilidade para que a pessoa que vai construir possa implementar modificações de acordo com seus objetivos.

O segundo objetivo, da multidisciplinaridade, é evidenciado pela profundidade das integrações que ocorrem entre os campos da elétrica e da mecânica, e também suas aplicações no universo da música demonstrando uma fração da magnitude que são esses dois universos (engenharia e música) e a quantidade de temas que podem vir a ser desenvolvidos, sejam eles ancorados no passado ou buscando uma inovação tecnológica.

O terceiro e último pilar, do resgate histórico do esforço de tantas engenheiras e engenheiros, é sustentado pelo contexto histórico que introduz este trabalho e a visível percepção do grau de complexidade do órgão musical, necessitando um amplo conhecimento teórico, um conjunto de ferramentas para projetar novos dispositivos e a própria natureza inovadora daqueles que contribuem para o surgimento de novos instrumentos e novas tecnologias. Dessa forma, este trabalho reforça a importância de olhar o passado como um norteador para o futuro e a necessidade de estar sempre imaginando o amanhã, para que seja o catalisador de novas ideias.

REFERÊNCIAS

ALMADA, Carlos. **HARMONIA FUNCIONAL**. 2. ed. Campinas: Unicamp, f. 144, 2012. 288 p. cap. 1, p. 19-34.

B-3 V: TONEWHEEL ORGAN HEAVYWEIGHT. **Arturia**. Disponível em: <https://www.arturia.com/b-3-v/details>. Acesso em: 18 nov. 2020.

BARBOSA, João Paulo. **Elementos De Máquinas**. São Mateus: IFES, v. Único, f. 214, 2011. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TMEC038/Prof.Jorge_Erthal/Referencia%20complementar/apostilas/Apostila%20Elementos%20de%20Maquinas%20IFES.pdf. Acesso em: 22 nov. 2020.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. Tradução Sônia Midori Yamamoto. 11. ed. 2003. 784 p. Tradução de: Electronic devices and circuit theory.

CALCULADORA de Filtro Passa-Banda. **Aprender Sobre Eletrônica**. Disponível em: <http://www.learningaboutelectronics.com/Artigos/Calculadora-de-filtro-passa-banda.php>. Acesso em: 25 nov. 2020.

CIRCUITOS Básicos com AOP: Amplificador Somador. In: WENDLING JR., J. M. A.. **Amplificadores Operacionais**. 2. ed. Guaratinguetá - SP: UNESP - Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá, 2010. cap. 3.4, p. 21. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/3---amplificadores-operacionais-v2.0.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2020.

Correia Continental Polyflat. Loja Feira da Borracha. Disponível em: <http://feiradaborrachasjc.com.br/2018/wp-content/uploads/2018/02/Catalogo-continental.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

DOS REIS, Fábio. **Curso de Eletrônica: O que é PWM. Bóson Treinamentos Em Ciência E Tecnologia**. 2017. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-o-que-e-pwm-pulse-width-modulation/>. Acesso em: 19 nov. 2020.

Eixo Linear. Loja Tecmaf. Disponível em: <https://loja.tecmf.com.br/eixo-linear>. Acesso em: 13 jan. 2021.

GALPIN, Francis W.. **A Textbook of European Musical Instruments: Their Origin, History and Character**. 1ª Ed. Londres: Williams and Norgate, 1937.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **FUNDAMENTOS DE FISICA, V.3: ELETROMAGNETISMO**. 8. ed, f. 141. 2009. 282 p.

HAMMOND ORGAN COMPANY. **The Hammond Organ Manual for the Service Engineer**. USA. 298 p. Disponível em:
<https://archive.org/details/HSM4952016/page/n51/mode/2up>. Acesso em: 16 dez. 2020.

HAMMOND, Laurens. **Electrical musical instrument**: US1956350A. 1934. Disponível em:
<https://patents.google.com/patent/US1956350A/en>. Acesso em: 18 nov. 2020.

HORNBOSTEL, Erich Von; SACHS, Curt. **Systematik der Musikinstrumente**. Zeitschrift für Ethnologie, vol. 46, 1914, pp 553-590.

HOW TO BUILD a 4066 Quad Bilateral Switch Circuit. **Learning About Electronics**. Disponível em: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/4066-quad-bilateral-switch-circuit.php>. Acesso em: 22 nov. 2020.

Ímã de Alnico em Pinos. Loja Captadores. Disponível em:
https://www.captadores.com.br/loja/produto-34302-1572-ima_de_alnico_em_pinos. Acesso em: 13 jan. 2021.

KARTOMI, Margaret J.. **On Concepts and Classifications of Musical Instruments**. University of Chicago Press, f. 175, 1990. 349 p.

LATORRE, Daniel. **A Caixa Mágica Leslie**: A grande Parceira do Hammond B3. **Cult Jazz**. 2001. Disponível em: <http://www.cultjazz.com.br/p/a-caixa-leslie.html>. Acesso em: 19 nov. 2020.

LATORRE, Daniel. **O Hammond B3**. **Cult Jazz**. 2001. Disponível em:
<http://www.cultjazz.com.br/p/o-orgao-hammond-b-3.html>. Acesso em: 18 nov. 2020.

LOUREIRO, Maurício A.; PAULA, Hugo B. de. Timbre de um instrumento musical: caracterização e representação Per Musi– Revista Acadêmica de Música – n.14, 2006, p.57-81

MAHILLON, Victor Charles. **Eléments d'acoustique musicale & instrumentale**. Bruxelles: C. Mahillon, 1874.

MANCAL com rolamento. **Mercado Livre**. Disponível em:
https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_628326-MLB32645714160_102019-O.jpg. Acesso em: 16 dez. 2020.

MORO, Giulio; MCPHERSON, Andrew P.; SANDLER, Mark B.. Dynamic temporal behaviour of the keyboard action on the Hammond organ and its perceptual significance. **The**

Journal of the Acoustical Society of America, v. 142, p. 2808-2822, 10 Nov. 2017.
Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.5003796>. Acesso em: 18 nov. 2020.

Motor Bosch. Loja Casa Ferreira. Disponível em: <http://casaferreira.tempsite.ws/bosch/>.
Acesso em 13 jan. 2021.

OLSEN, Harvey. **Leslie Speakers and Hammond Organs: Rumors, Myths, Facts, and Lore**. The Hammond Grounds. Disponível em: <http://www.theatreorgans.com/grounds/docs/rumors.html>. Acesso em: 12 jan. 2021.

OPERATIONAL Amplifiers: The Summing Amplifier. **Electronics Tutorials**. Disponível em: https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_4.html. Acesso em: 16 dez. 2020.

PERFIL de alumínio estrutural. **Ecos engenharia e automação**. Disponível em: <https://www.ecos.eng.br/imagens/informacoes/perfil-aluminio-estrutural-01.jpg>. Acesso em: 16 dez. 2020.

PERFIL estrutural em alumínio. **Forseti usinagem LTDA**. Disponível em: <https://www.loja.forsetisolucoes.com.br/perfil-estrutural-em-aluminio-20x20-canal-6-v-slot-vslot-openbuild-open-build>. Acesso em: 16 dez. 2020.

PIRES FILHO, Jorge Costa. **CLASSIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS MUSICAIS EM CONFIGURAÇÕES MONOFÔNICAS E POLIFÔNICAS**. RIO DE JANEIRO, 2009. 190 p. Dissertação (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PÉ DE MÁQUINA. **Direct Industry**. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/minitec/product-25878-1979693.html>. Acesso em: 16 dez. 2020.

PÉS NIVELADORES redondos. **Kipp**. Disponível em: <https://www.kipp.com.br/br/pt/Produtos/Dispositivos-de-controle-Elementos-normalizados/P%C3%A9s-niveladores/P%C3%A9s-niveladores-redondos.html>. Acesso em: 16 dez. 2020.

RISSET, Jean-Claude e WESSEL, David L. Exploration of Timbre by Analysis and Synthesis. In: D. Deutsch (Ed.). *Psychology of Music*. San Diego, California: Academic Press, 1999, p.25-58.

Stewart-MacDonald. **Pickup Winding**. StewMac. Athens, Ohio, EUA, 2014. Disponível em: <https://www.stewmac.com/freeinfo/i-2105/i-2105.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2021.

Teclas P/ Teclado. Mercado Livre. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1656655244-teclas-p-teclado-yamaha-1-oitava-psr-310-e-psr-210-_JM#position=13&type=item&tracking_id=361c4cce-f77e-4c19-8abe-077898134e5c. Acesso em: 13 jan. 2021.

TELHARMONIUM. **Wikipedia**. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Telharmonium_console_\(1897\)_\(zoomed_400%25,__sharper\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Telharmonium_console_(1897)_(zoomed_400%25,__sharper).jpg). Acesso em: 17 nov. 2020.

THE NEW YORK TIMES. **Laurens Hammond Dies at 78; Invented Electric Organ in 30's. The New York Times**. 1973. Disponível em: <https://www.nytimes.com/1973/07/03/archives/laurens-hammond-dies-at-78-invented-electric-organ-in-30s.html>. Acesso em: 18 nov. 2020.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Linha do Tempo**. Museu Virtual do Sintetizador. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/mvs/linhadotempo.html>. Acesso em: 17 nov. 2020.

WILTSHIRE, Tom. **Technical aspects of the Hammond Organ. Electric Druid**. 2008. Disponível em: <https://electricdruid.net/technical-aspects-of-the-hammond-organ/>. Acesso em: 16 dez. 2020.

APÊNDICE A — Glossário musical

Neste glossário, encontram-se a definição de alguns termos musicais utilizados ao longo desta monografia, de forma a auxiliar o entendimento o mesmo.

- Acorde: agrupamento de três ou mais sons tocados simultaneamente. Apesar desta definição, convencionou-se, na prática, apenas os casos em que cada som utilizado apresente um intervalo de terça (ALMADA, 2012).
 - Observação: o conceito de intervalo é apresentado na seção 5.
- Harmônicos: um som emitido por um instrumento musical é resultado da combinação de diferentes frequências: a “original” (conhecida como fundamental) e outras frequências de menor intensidade, mas relacionadas ao som original, denominadas de harmônicos (ALMADA, 2012).
 - Observação: uma curiosidade relacionada aos harmônicos é que o matemático Pitágoras (século V a.C.) descobriu que um som de qualquer frequência gera harmônicos dispostos em uma ordem constante. A essa disposição deu-se o nome de série harmônica (ALMADA, 2012).
- Timbre: segundo Loureiro (2006), a representação sonora de um instrumento musical pode ser apresentada através de três atributos: altura, intensidade e timbre. Ao último atributo encontra-se a maior dificuldade em medir e especificar os parâmetros de observação. Ainda segundo Loureiro: “o conceito abstrato aparentemente simples de timbre refere-se comumente à cor ou à qualidade do som.”
 - Observação: a definição oficial da ASA (*American Standard Association*) é a seguinte: “atributo do sentido auditivo em termos do qual o ouvinte pode julgar que dois sons similarmente apresentados com a mesma intensidade e altura, são dissimilares” (RISSET e WESSEL, 1999).

APÊNDICE B — Informações referente ao bloco 1

CORREIA

Tabela 9 — Medidas para cálculo do comprimento da correia

Polia origem da reta tan.	Polia destino da reta tan.	Reta tangente (mm)	Arco da polia origem (mm)
aux 1	motor	279,599	75
motora	1	280,318	30
1	2	278,14	61,155
2	3	279,64	57,725
3	4	280,616	54,485
4	5	278,995	51,42
5	6	276	48,54
6	7	276	45,815
7	8	278,87	43,245
8	9	279,413	40,815
9	10	276	38,57
10	11	277,02	36,365
11	12	276	34,325
12	aux 2	282,818	32,395
aux 2	aux 1	1302,906	75
TOTAL		5202,335	724,855

Fonte: O autor (2020)

POLIAS

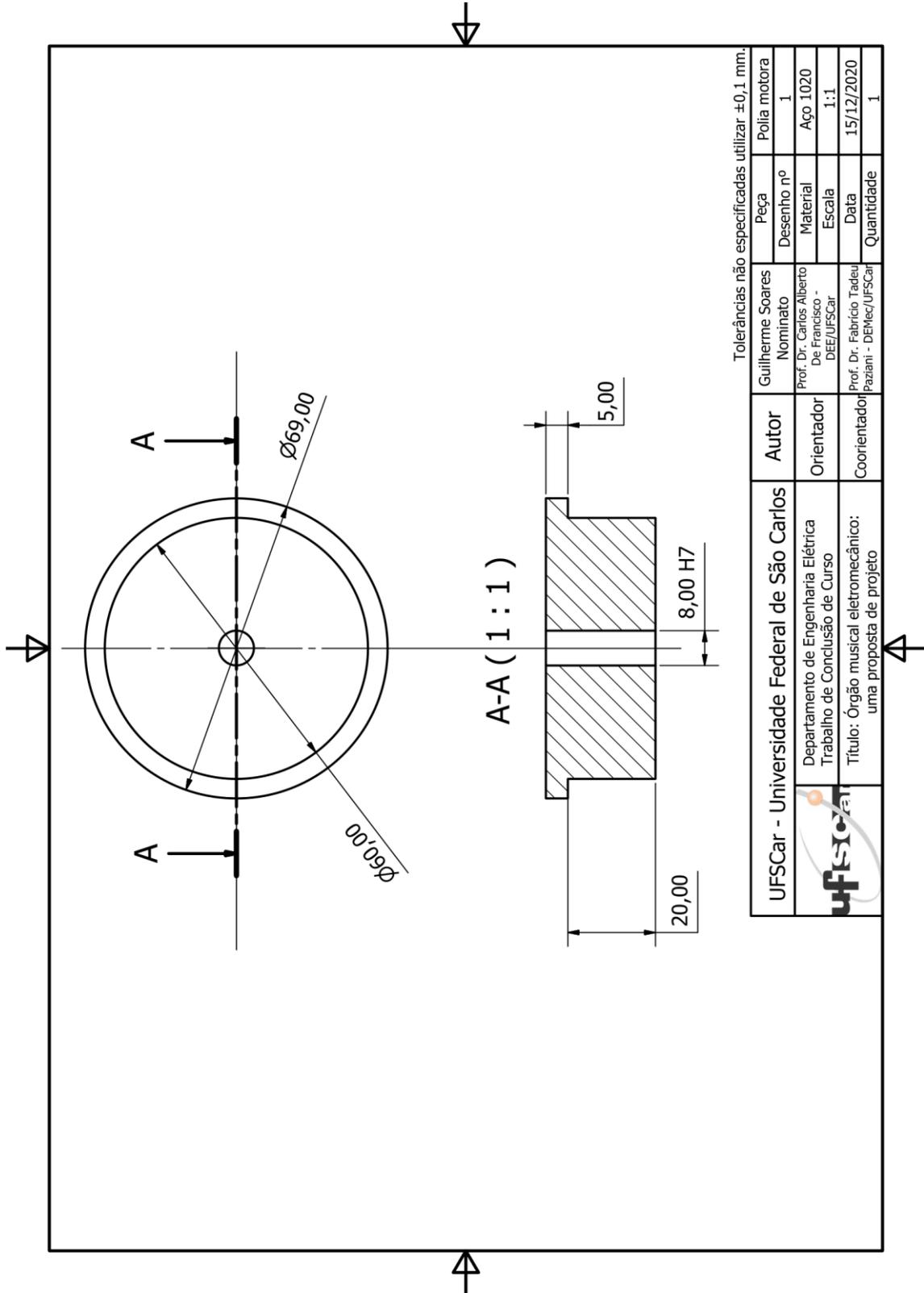
Tabela 10 — Dados referente às polias movidas

Nota P	Frequência da primeira oitava (Hz)	Rotação da polia (rpm)	Fator de redução ou ampliação	Diâmetro interno da polia (mm)
C	65,406	981,09	2,0385	122,31
C#/Db	69,29524315	1039,43	1,9241	115,45
D	73,41575273	1101,24	1,8161	108,97
D#/Eb	77,78128056	1166,72	1,7142	102,85
E	82,40639619	1236,1	1,618	97,08
F	87,3065355	1309,6	1,5272	91,63
F#/Gb	92,49805226	1387,47	1,4415	86,49
G	97,99827267	1469,97	1,3606	81,63
G#/Ab	103,8255532	1557,38	1,2842	77,05
A	109,9993419	1649,99	1,2121	72,73
A#/Bb	116,5402431	1748,1	1,1441	68,65
B	123,4700866	1852,05	1,0799	64,79

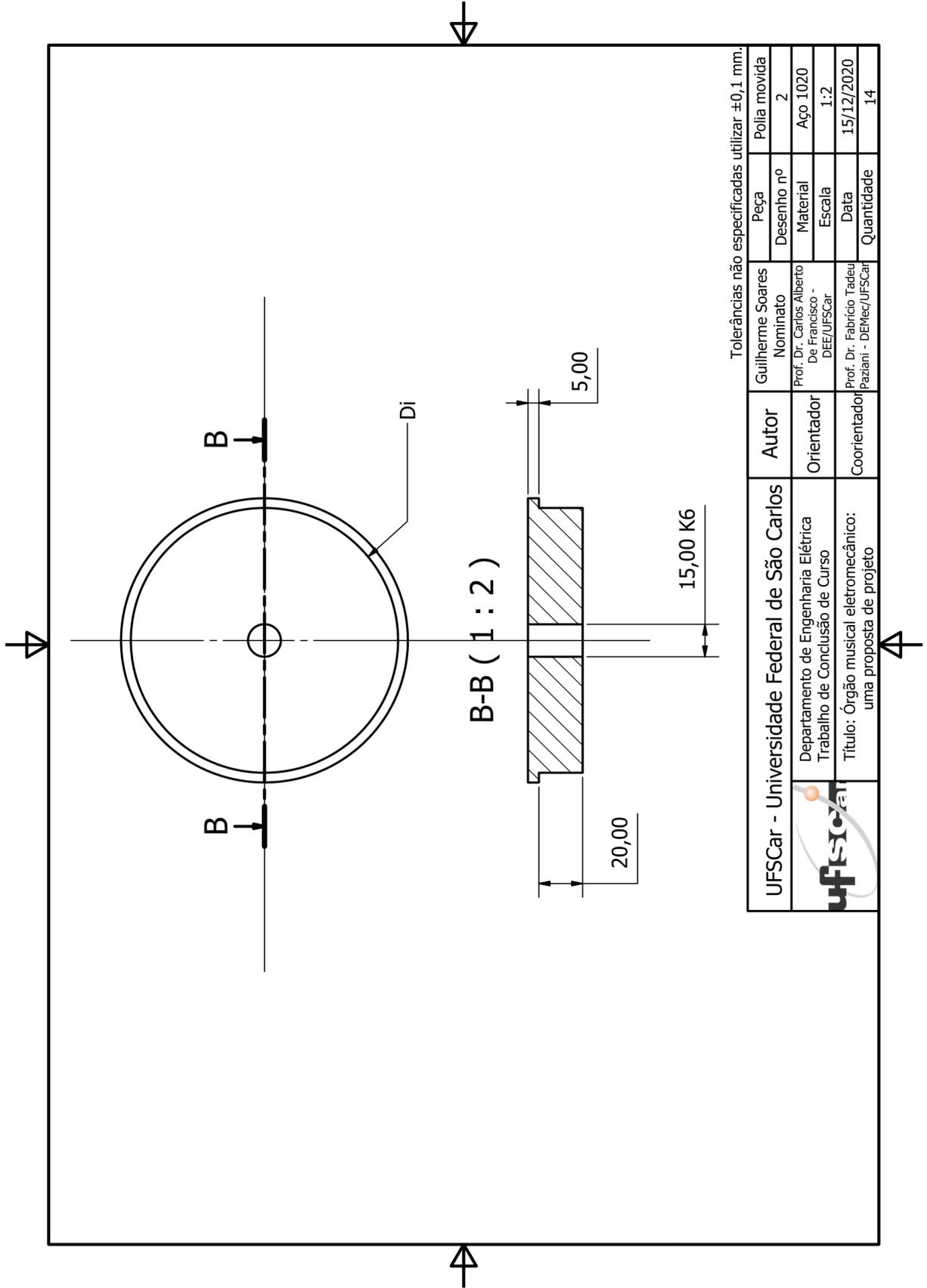
Fonte: O autor (2020)

DESENHOS MECÂNICOS

Polia motora



Polia movida



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos		Autor	Guilherme Soares Nominato	Peça	Polia movida
		Orientador	Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar	Desenho nº	2
Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso		Coorientador	Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani - DEMec/UFSCar	Material	Aço 1020
Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto				Escala	1:2
				Data	15/12/2020
				Quantidade	14

Tabela 11 — Tabela dos diâmetros internos das polias movidas

Polia movida	Di [mm] ± 0,1 mm
Aux 1 e Aux 2	150,0
1	122,3
2	115,4
3	108,9
4	102,8
5	97,1
6	91,6
7	86,5
8	81,6
9	77,0
10	72,7
11	68,6
12	64,8

Fonte: O autor (2020)

APÊNDICE B — Informações referente ao bloco 2

Figura 43 — Representação esquemática de ligação do acionamento da tecla C2 no CI

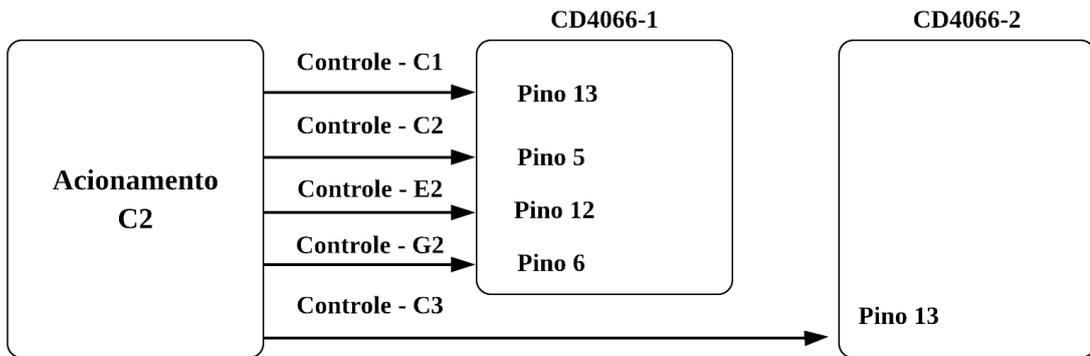


Tabela 12 — Conexões dos sinais de controle provenientes do sistema de acionamento

CD4066	Sinais de controle nos pinos				Teclas presentes neste CI	
	13	5	12	6		
1	C1	C2	E2	G2	C2	-
2	C3	C#1	C#2	F2	C2	C#2
3	G#2	C#3	D1	D2	C#2	D2
4	F#2	A2	D3	D#1	D2	D#2
5	D#2	G2	A#2	D#3	D#2	-
6	E1	E2	G#2	B2	E2	-
7	E3	F1	F2	A2	E2	F2
8	C3	F3	F#1	F#2	F2	F#2
9	A#2	C#3	F#3	G1	F#2	G2
10	G2	B2	D3	G3	G2	-
11	G#1	G#2	C3	D#3	G#2	-
12	G#3	A1	A2	C#3	G#2	A2
13	E3	A3	A#1	A#2	A2	A#2
14	D3	F3	A#3	B1	A#2	B2
15	B2	D#3	F#3	B3	B2	-
16	C2	C3	E3	G3	C3	-
17	C4	C#2	C#3	F3	C3	C#3
18	G#3	C#4	D2	D3	C#3	D3
19	F#3	A3	D4	D#2	D3	D#3
20	D#3	G3	A#3	D#4	D#3	-
21	E2	E3	G#3	B3	E3	-
22	E4	F2	F3	A3	E3	F3
23	C4	F4	F#2	F#3	F3	F#3
24	A#3	C#4	F#4	G2	F#3	G3
25	G3	B3	D4	G4	G3	-
26	G#2	G#3	C4	D#4	G#3	-
27	G#4	A2	A3	C#4	G#3	A3
28	E4	A4	A#2	A#3	A3	A#3
29	D4	F4	A#4	B2	A#3	B3
30	B3	D#4	F#4	B4	B3	-
31	C3	C4	E4	G4	C4	-
32	C5				C4	-

Fonte: O autor (2020)

APÊNDICE C — Informações referente ao bloco 3

ALGORITMO PARA DESENVOLVIMENTO DAS RODAS FÔNICAS (MATLAB)

```
clc
clear
k = 16; %nº de lobulos
a = 2; %amplitude da borda (cosseno)
r = zeros(1,360); %gerar matriz de zeros
m = 1; %variavel auxiliar
ang = (0:0.0175:2*pi); %vetor com intervalos iguais de 0 a 2pi
for beta = 0:0.0175:2*pi
    r(1,m) = (a*cos(k*beta));
    r(1,m)=r(1,m)+25,4;
    m = m+1;
end
[x,y]=pol2cart(ang,r);
plot(x,y);
Tabela = table([x],[y]);
fileName = 'coroa_64.xlsx';
writetable (Tabela,fileName);

%para a roda de 64 usar 38,1 ao invés de 25,4
```

RODAS FÔNICAS

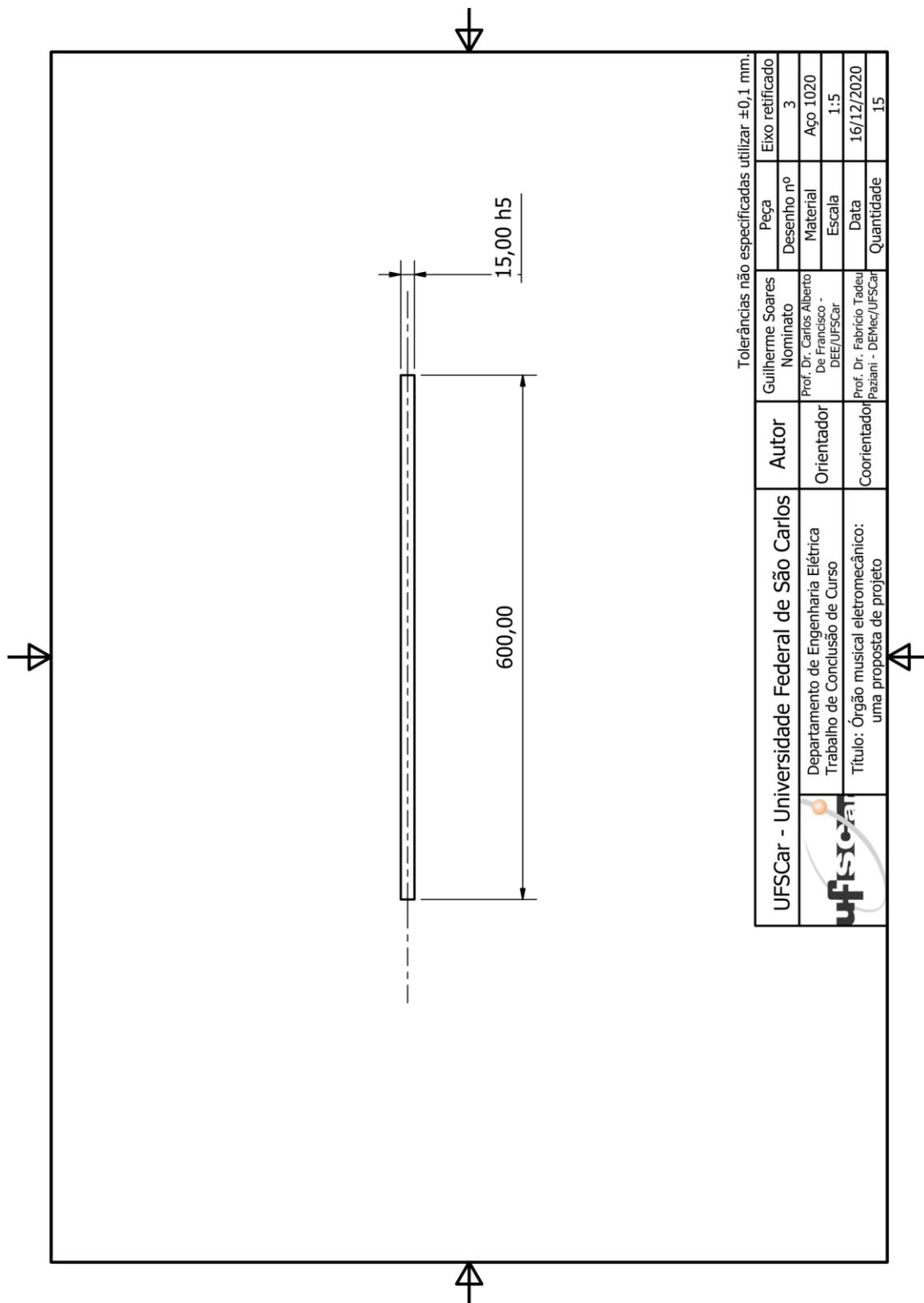
Tabela 13 — Dados referentes às rodas fônicas

Oitava (Tipo)	Nota	Frequência teórica (em Hz e arred. de 3 casas)	Nº de lóbulos da roda fônica	
1 (Virtual)	C	65,406	4	
	C#	69,295	4	
	D	73,416	4	
	D#	77,781	4	
	E	82,406	4	
	F	87,307	4	
	F#	92,498	4	
	G	97,998	4	
	G#	103,826	4	
	A	110	4	
	A#	116,54	4	
	B	123,47	4	
	2 (Física)	C	130,812	8
		C#	138,591	8
D		146,832	8	
D#		155,563	8	
E		164,815	8	
F		174,614	8	
F#		184,997	8	
G		195,997	8	
G#		207,652	8	
A		220	8	
A#		233,081	8	
B		246,941	8	
3 (Física)		C	261,625	16
		C#	277,182	16

	D	293,664	16
	D#	311,126	16
	E	329,627	16
	F	349,228	16
	F#	369,994	16
	G	391,995	16
	G#	415,304	16
	A	440	16
	A#	466,163	16
	B	493,883	16
4 (Virtual)	C	523,251	32
	C#	554,146	32
	D	587,329	32
	D#	622,253	32
	E	659,255	32
	F	698,456	32
	F#	739,988	32
	G	783,991	32
	G#	830,609	32
	A	880	32
	A#	932,327	32
	B	987,766	32
5 (Virtual)	C	1046,502	64

Fonte: O autor (2020)

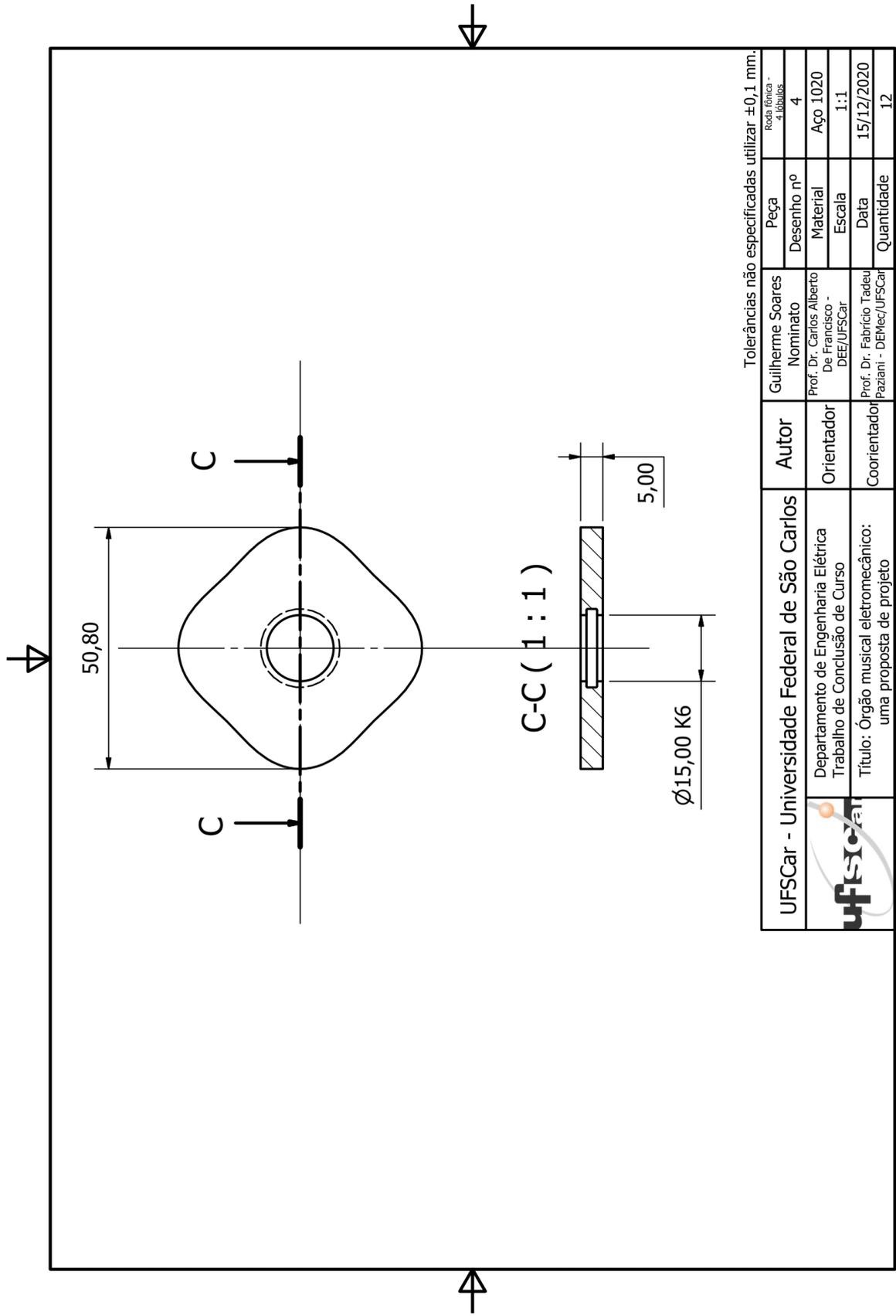
Eixo retificado



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos 	Guilherme Soares Nominato	Peça	Eixo retificado
	Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar	Desenho nº	3
Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso	Orientador	Material	Aço 1020
Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto	Coorientador	Escala	1:5
		Data	16/12/2020
		Quantidade	15

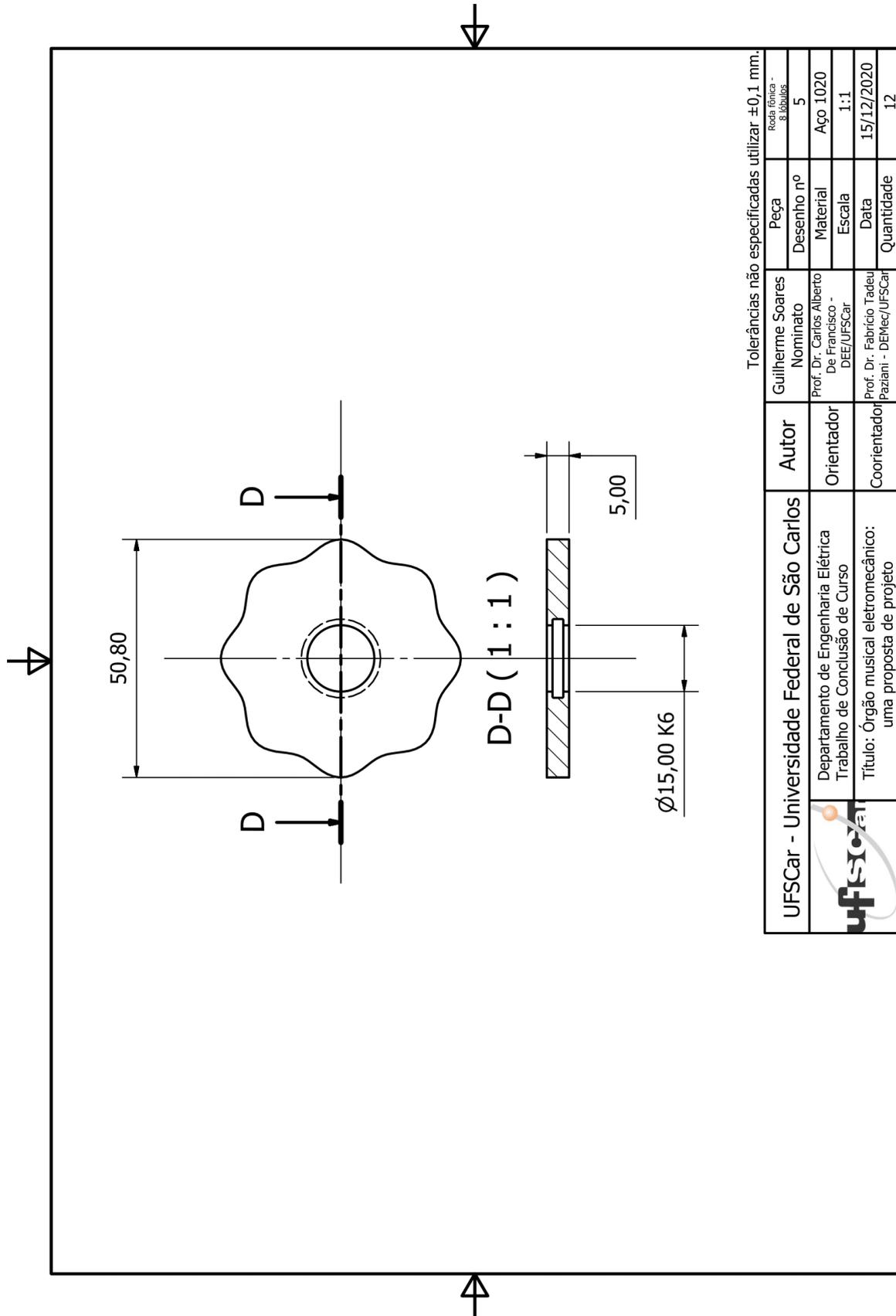
Roda fônica com 4 lóbulos



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos 	Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto	Autor Orientador Coorientador	Guilherme Soares Nominato Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani - DEVecz/UFSCar	Peça	Roda fônica - 4 lóbulos
				Desenho nº	4
		Material	Aço 1020	Escala	1:1
		Data	15/12/2020	Quantidade	12

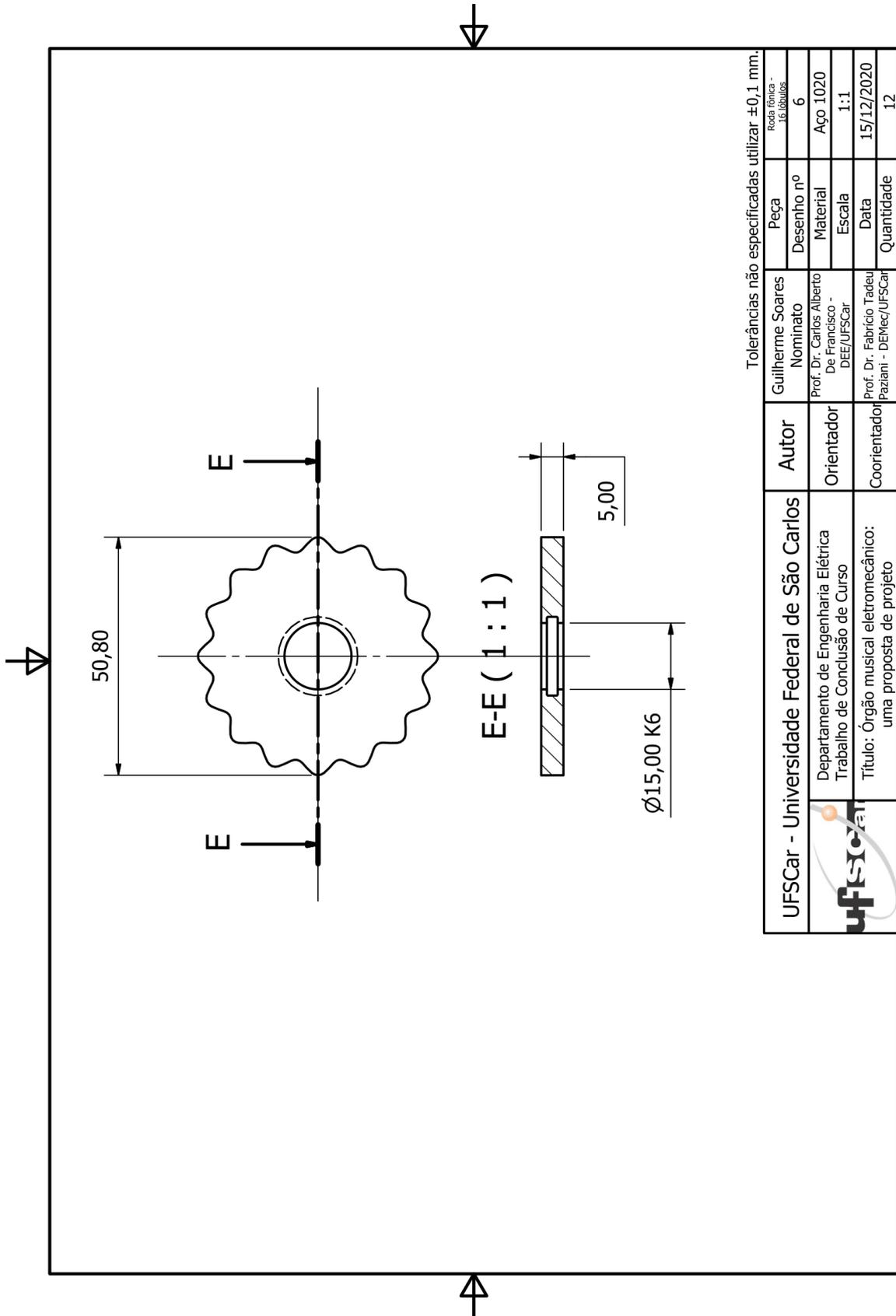
Roda fônica com 8 lóbulos



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos  Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto	Autor	Guilherme Soares Nominato	Peça	Roda fônica - 8 lóbulos
	Orientador	Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar	Desenho nº	5
	Coorientador	Prof. Dr. Fabricio Tadeu Paziani - DEMec/UFSCar	Material	Aço 1020
			Escala	1:1
			Data	15/12/2020
		Quantidade	12	

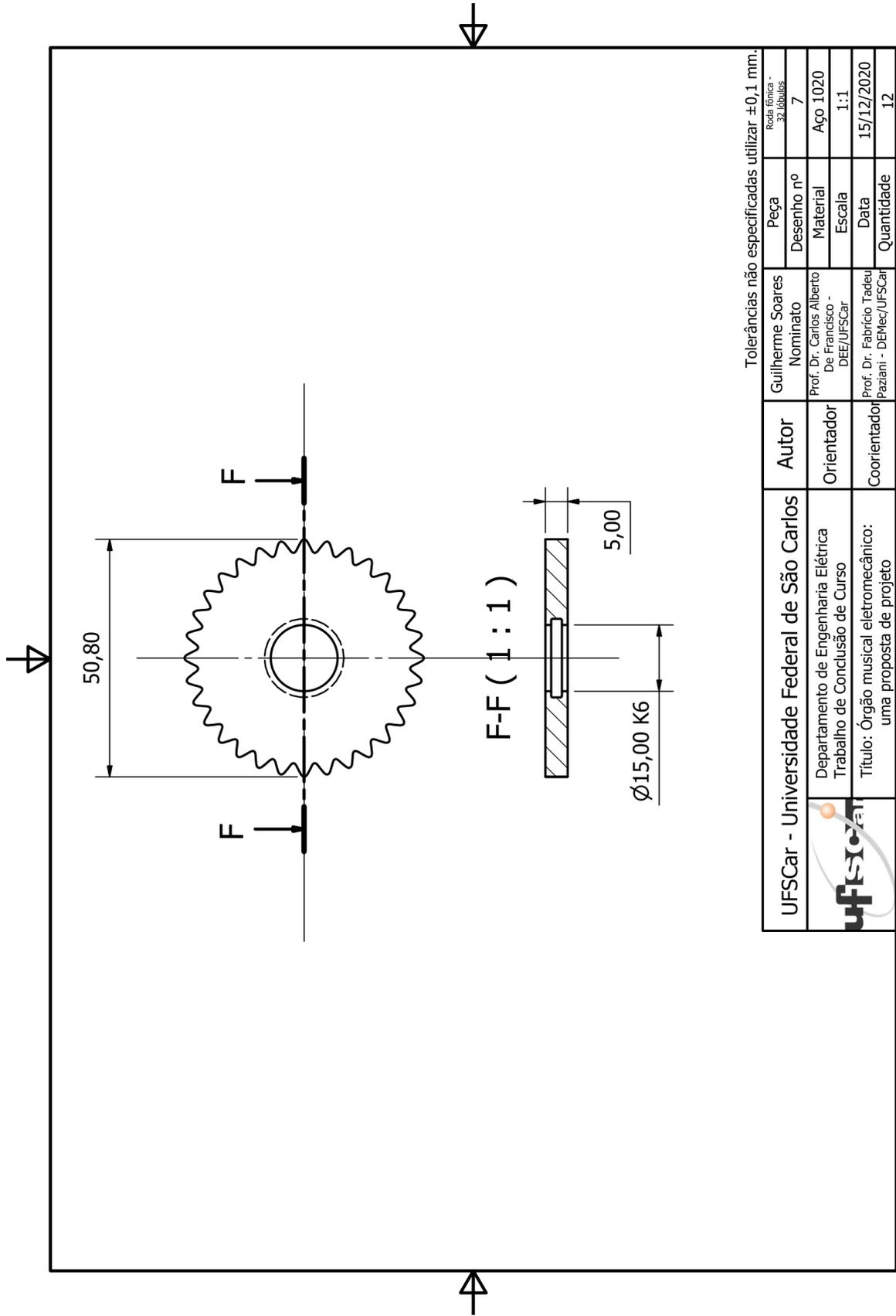
Roda fônica com 16 lóbulos



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos		Guilherme Soares		Peça	
		Nominato		Desenho nº 6	
Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso		Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar		Material Aço 1020	
Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto		Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani - DEMec/UFSCar		Escala 1:1	
		Autor		Data 15/12/2020	
		Orientador		Quantidade 12	
		Coorientador			

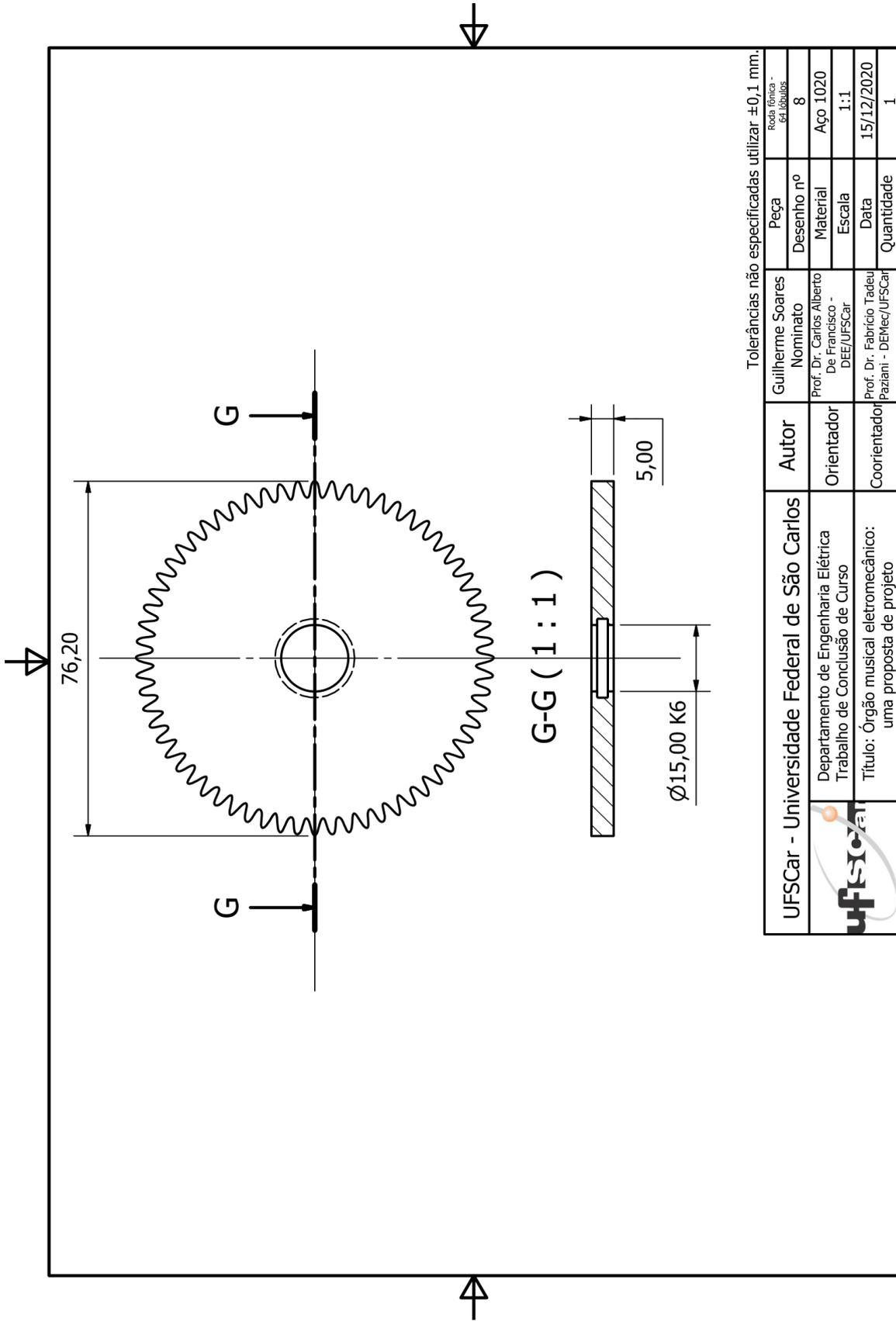
Roda fônica com 32 lóbulos



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos 	Autor	Guilherme Soares Nominato	Peça	Roda fônica - 32 lóbulos
	Orientador	Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar	Desenho nº	7
Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso		Coorientador	Material	Aço 1020
Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto			Escala	1:1
			Data	15/12/2020
			Quantidade	12

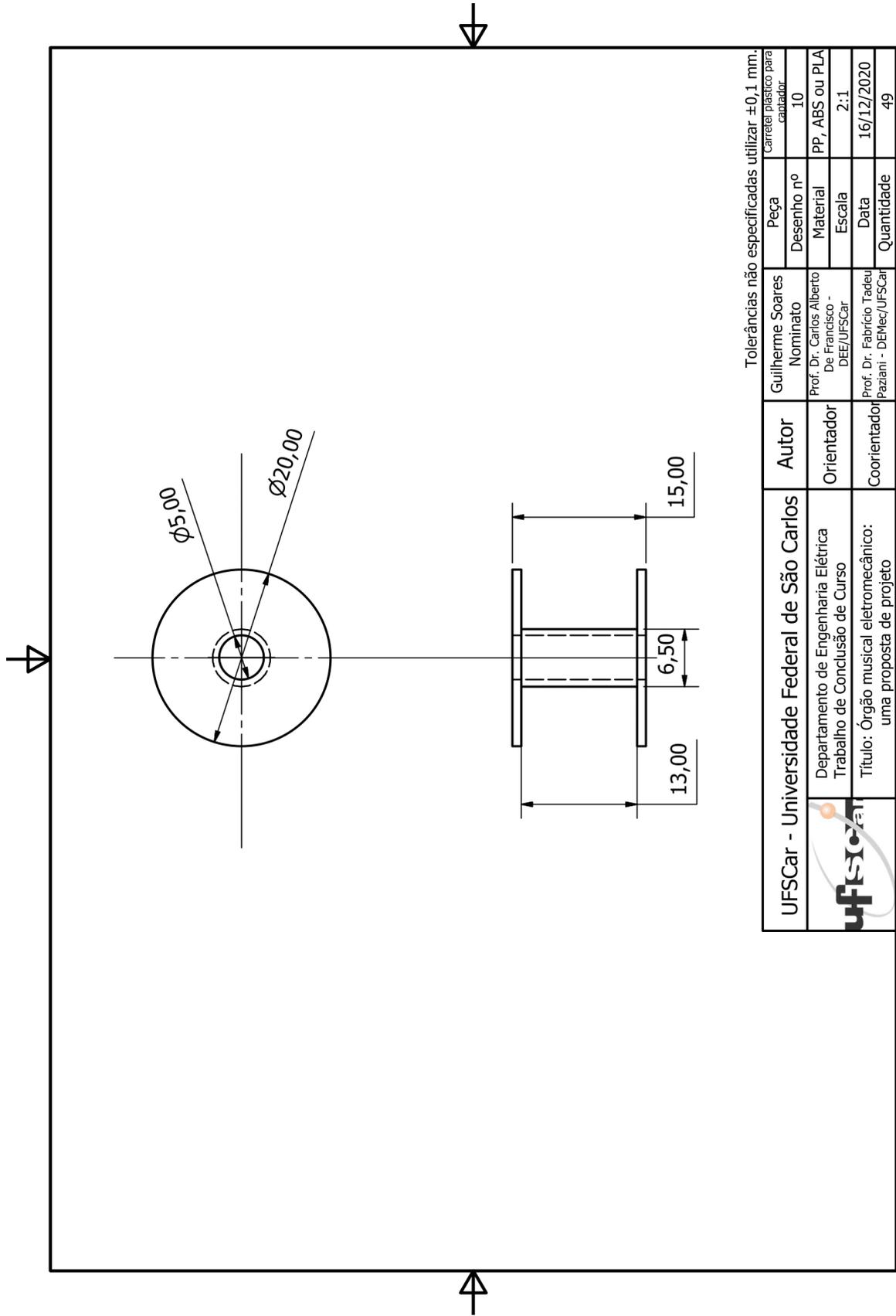
Roda fônica com 64 lóbulos



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos 	Autor	Guilherme Soares Nominato	Peça	Roda fônica - 64 lóbulos
	Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso	Orientador Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar	Desenho nº 8	Material Aço 1020
Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto	Coorientador Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani - DEMec/UFSCar	Escala 1:1	Data 15/12/2020	Quantidade 1

Carretel plástico para suporte da bobina



Tolerâncias não especificadas utilizar $\pm 0,1$ mm.

UFGar - Universidade Federal de São Carlos	UFGar	Departamento de Engenharia Elétrica Trabalho de Conclusão de Curso	Autor	Guilherme Soares Nominato	Peça	Carretel plástico para cabeador
		Título: Órgão musical eletromecânico: uma proposta de projeto	Orientador	Prof. Dr. Carlos Alberto De Francisco - DEE/UFSCar	Desenho nº	10
			Coorientador	Prof. Dr. Fabrício Tadeu Paziani - DEVec/UFSCar	Material	PP, ABS ou PLA
					Escala	2:1
					Data	16/12/2020
					Quantidade	49

CAPTADORES E FILTROS

Tabela 14 — Informações sobre os captadores e filtros de cada gerador de tom

Oitava	Nota	C1	C2	Número de saídas (código das conexões)
1	C	220 nF	39 nF	1 (C1a)
	C#	220 nF	39 nF	1 (C#1a)
	D	220 nF	39 nF	1 (D1a)
	D#	220 nF	39 nF	1 (D#1a)
	E	220 nF	39 nF	1 (E1a)
	F	220 nF	39 nF	1 (F1a)
	F#	220 nF	39 nF	1 (F#1a)
	G	220 nF	39 nF	1 (G1a)
	G#	220 nF	39 nF	1 (G#1a)
	A	220 nF	39 nF	1 (A1a)
	A#	120 nF	22 nF	1 (A#1a)
	B	120 nF	22 nF	1 (B1a)
2	C	120 nF	22 nF	2 (C2a, C2b)
	C#	120 nF	22 nF	2 (C#2a, C#2b)
	D	120 nF	22 nF	2 (D2a, D2b)
	D#	120 nF	22 nF	2 (D#2a, D#2b)
	E	120 nF	22 nF	3 (E2a, E2b, E2c)
	F	120 nF	22 nF	3 (F2a, F2b, F2c)
	F#	120 nF	22 nF	3 (F#2a, F#2b, F#2c)
	G	120 nF	22 nF	4 (G2a, G2b, G2c, G2d)
	G#	56 nF	12 nF	4 (G#2a, G#2b, G#2c, G#2d)
	A	56 nF	12 nF	4 (A2a, A2b, A2c, A2d)
	A#	56 nF	12 nF	4 (A#2a, A#2b, A#2c, A#2d)
	B	56 nF	12 nF	4 (B2a, B2b, B2c, B2d)
3	C	56 nF	12 nF	5 (C3a, C3b, C3c, C3d, C3e)
	C#	56 nF	12 nF	4 (C#3a, C#3b, C#3c, C#3d)

	D	56 nF	12 nF	4 (D3a, D3b, D3c, D3d)
	D#	56 nF	12 nF	4 (D#3a, D#3b, D#3c, D#3d)
	E	56 nF	12 nF	4 (E3a, E3b, E3c, E3d)
	F	56 nF	12 nF	4 (F3a, F3b, F3c, F3d)
	F#	56 nF	12 nF	4 (F#3a, F#3b, F#3c, F#3d)
	G	56 nF	12 nF	4 (G3a, G3b, G3c, G3d)
	G#	33 nF	6,8 nF	4 (G#3a, G#3b, G#3c, G#3d)
	A	33 nF	6,8 nF	4 (A3a, A3b, A3c, A3d)
	A#	33 nF	6,8 nF	4 (A#3a, A#3b, A#3c, A#3d)
	B	33 nF	6,8 nF	4 (B3a, B3b, B3c, B3d)
4	C	33 nF	6,8 nF	4 (C4a, C4b, C4c, C4d)
	C#	33 nF	6,8 nF	3 (C#4a, C#4b, C#4c)
	D	33 nF	6,8 nF	3 (D4a, D4b, D4c)
	D#	33 nF	6,8 nF	3 (D#4a, D#4b, D#4c)
	E	33 nF	6,8 nF	3 (E4a, E4b, E4c)
	F	22 nF	4,7 nF	2 (F4a, F4b)
	F#	22 nF	4,7 nF	2 (F#4a, F#4b)
	G	22 nF	4,7 nF	2 (G4a, G4b)
	G#	22 nF	4,7 nF	1 (G#4a)
	A	22 nF	4,7 nF	1 (A4a)
	A#	22 nF	4,7 nF	1 (A#4a)
	B	22 nF	4,7 nF	1 (B4a)
5	C	22 nF	4,7 nF	1 (C5a)

Fonte: O autor (2020)

APÊNDICE D — Informações referente ao bloco 4

ESTRUTURA LÓGICA DOS CIRCUITOS INTEGRADOS CD4066

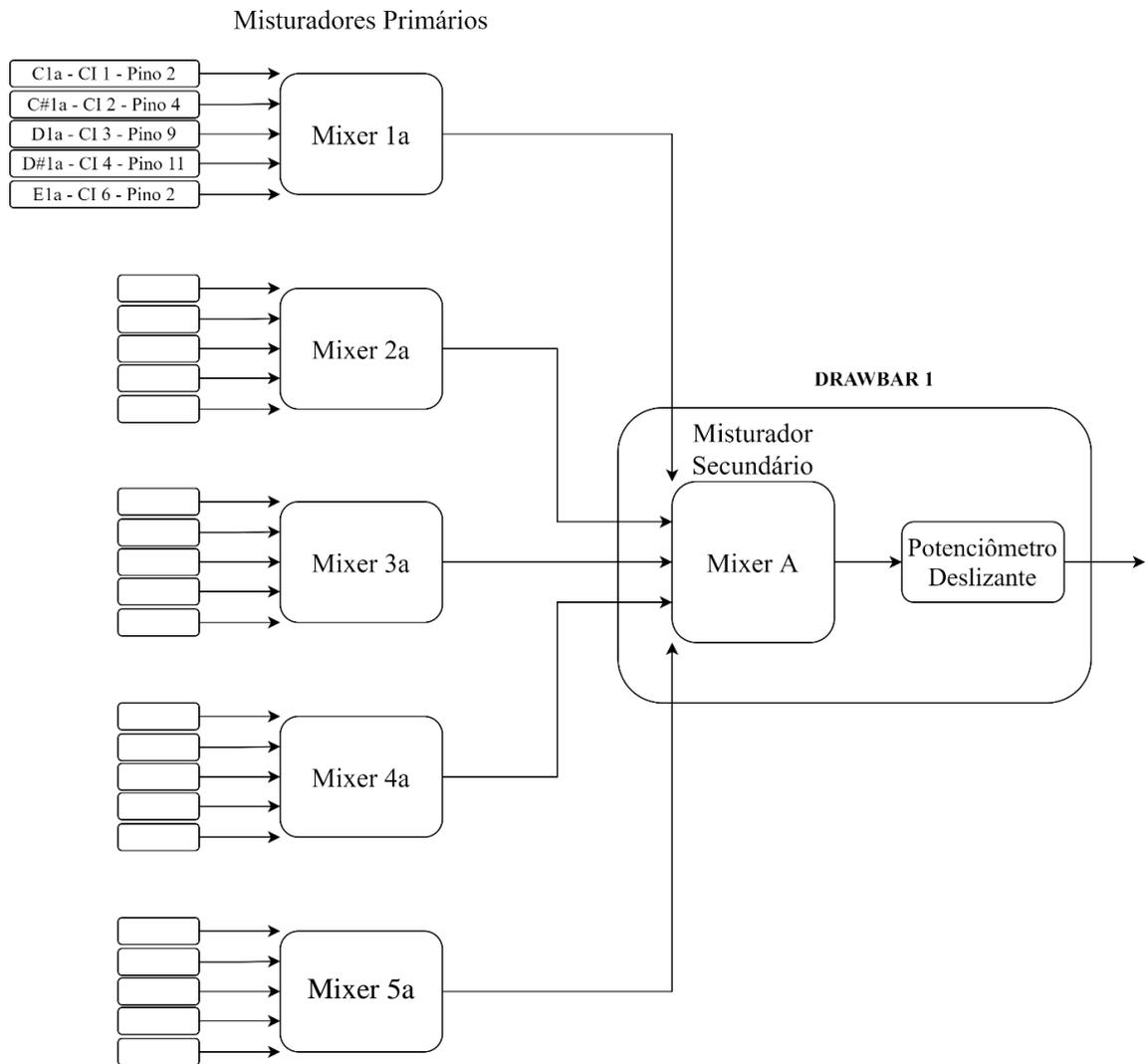


Tabela 15 — Divisão dos sinais de entrada em cada CD4066

CD4066	Sinais de entrada nos pinos			
	1	3	8	10
1	C1a	C2a	E2a	G2a
2	C3a	C#1a	C#2a	F2a
3	G#2a	C#3a	D1a	D2a
4	F#2a	A2a	D3a	D#1a
5	D#2a	G2b	A#2a	D#3a
6	E1a	E2b	G#2b	B2a
7	E3a	F1a	F2b	A2b
8	C3b	F3a	F#1a	F#2b
9	A#2b	C#3b	F#3a	G1a
10	G2c	B2b	D3b	G3a
11	G#1a	G#2c	C3c	D#3b
12	G#3a	A1a	A2c	C#3c
13	E3b	A3a	A#1a	A#2c
14	D3c	F3b	A#3a	B1a
15	B2c	D#3c	F#3b	B3a
16	C2b	C3d	E3c	G3b
17	C4a	C#2b	C#3d	F3c
18	G#3b	C#4a	D2b	D3d
19	F#3c	A3b	D4a	D#2b
20	D#3d	G3c	A#3b	D#4a
21	E2c	E3d	G#3c	B3b
22	E4a	F2c	F3d	A3c
23	C4b	F4a	F#2c	F#3d
24	A#3c	C#4b	F#4a	G2d
25	G3d	B3c	D4b	G4a
26	G#2d	G#3d	C4c	D#4b

27	G#4a	A2d	A3d	C#4c
28	E4b	A4a	A#2d	A#3d
29	D4c	F4b	A#4a	B2d
30	B3d	D#4c	F#4b	B4a
31	C3e	C4d	E4c	G4b
32	C5a	-	-	-

Fonte: O autor (2020)

Tabela 16 — Sinais de saída de cada CD4066

CD4066	Sinais de saída nos pinos			
	2	4	9	11
1	C1a	C2a	E2a	G2a
2	C3a	C#1a	C#2a	F2a
3	G#2a	C#3a	D1a	D2a
4	F#2a	A2a	D3a	D#1a
5	D#2a	G2b	A#2a	D#3a
6	E1a	E2b	G#2b	B2a
7	E3a	F1a	F2b	A2b
8	C3b	F3a	F#1a	F#2b
9	A#2b	C#3b	F#3a	G1a
10	G2c	B2b	D3b	G3a
11	G#1a	G#2c	C3c	D#3b
12	G#3a	A1a	A2c	C#3c
13	E3b	A3a	A#1a	A#2c
14	D3c	F3b	A#3a	B1a
15	B2c	D#3c	F#3b	B3a
16	C2b	C3d	E3c	G3b
17	C4a	C#2b	C#3d	F3c

18	G#3b	C#4a	D2b	D3d
19	F#3c	A3b	D4a	D#2b
20	D#3d	G3c	A#3b	D#4a
21	E2c	E3d	G#3c	B3b
22	E4a	F2c	F3d	A3c
23	C4b	F4a	F#2c	F#3d
24	A#3c	C#4b	F#4a	G2d
25	G3d	B3c	D4b	G4a
26	G#2d	G#3d	C4c	D#4b
27	G#4a	A2d	A3d	C#4c
28	E4b	A4a	A#2d	A#3d
29	D4c	F4b	A#4a	B2d
30	B3d	D#4c	F#4b	B4a
31	C3e	C4d	E4c	G4b
32	C5a	-	-	-

Fonte: O autor (2020)

DRAWBARS

Tabela 17 — Sinais de entrada na drawbar A

Misturador Primário	C1	C2	Sinais de entrada				
1a	1 uF	18 nF	C1a	C#1a	D1a	D#1a	E1a
2a	1 uF	18 nF	F1a	F#1a	G1a	G#1a	A1a
3a	1 uF	18 nF	A#1a	B1a	C2b	C#2b	D2b
4a	1 uF	18 nF	D#2b	E2c	F2c	F#2c	G2d
5a	1 uF	18 nF	G#2d	A2d	A#2d	B2d	C3e

Fonte: O autor (2020)

Tabela 18 — Sinais de entrada na drawbar B

Misturador Primário	C1	C2	Sinais de entrada				
1b	0,47 uF	6,8 nF	C2a	C#2a	D2a	D#2a	E2b
2b	0,47 uF	6,8 nF	F2b	F#2b	G2c	G#2c	A2c
3b	0,47 uF	6,8 nF	A#2c	B2c	C3d	C#3d	D3d
4b	0,47 uF	6,8 nF	D#3d	E3d	F3d	F#3d	G3d
5b	0,47 uF	6,8 nF	G#3d	A3d	A#3d	B3d	C4d

Fonte: O autor (2020)

Tabela 19 — Sinais de entrada na drawbar C

Misturador Primário	C1	C2	Sinais de entrada				
1c	0,39 uF	5,6 nF	E2a	F2a	F#2a	G2b	G#2b
2c	0,39 uF	5,6 nF	A2b	A#2b	B2b	C3c	C#3c
3c	0,39 uF	5,6 nF	D3c	D#3c	E3c	F3c	F#3c
4c	0,39 uF	5,6 nF	G3c	G#3c	A3c	A#3c	B3c
5c	0,39 uF	5,6 nF	C4c	C#4c	D4c	D#4c	E4c

Fonte: O autor (2020)

Tabela 20 — Sinais de entrada na drawbar D

Misturador Primário	C1	C2	Sinais de entrada				
1d	0,33 uF	4,7 nF	G2a	G#2a	A2a	A#2a	B2a
2d	0,33 uF	4,7 nF	C3b	C#3b	D3b	D#3b	E3b
3d	0,33 uF	4,7 nF	F3b	F#3b	G3b	G#3b	A3b
4d	0,33 uF	4,7 nF	A#3b	B3b	C4b	C#4b	D4b
5d	0,33 uF	4,7 nF	D#4b	E4b	F4b	F#4b	G4b

Fonte: O autor (2020)

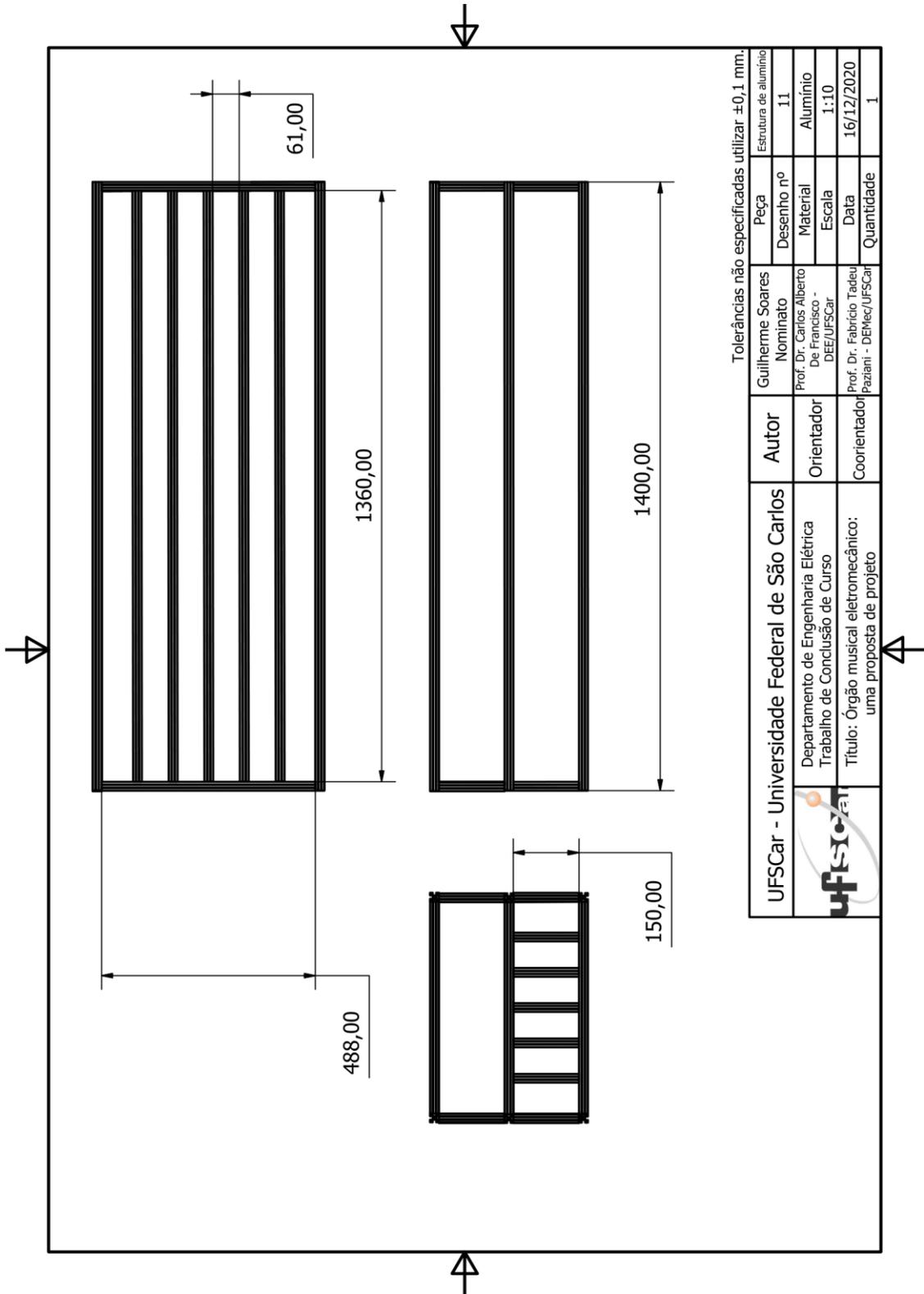
Tabela 21 — Sinais de entrada na drawbar E

Misturador Primário	C1	C2	Sinais de entrada				
1e	0,27 uF	3,9 nF	C3a	C#3a	D3a	D#3a	E3a
2e	0,27 uF	3,9 nF	F3a	F#3a	G3a	G#3a	A3a
3e	0,27 uF	3,9 nF	A#3a	B3a	C4a	C#4a	D4a
4e	0,27 uF	3,9 nF	D#4a	E4a	F4a	F#4a	G4a
5e	0,27 uF	3,9 nF	G#4a	A4a	A#4a	B4a	C5a

Fonte: O autor (2020)

APÊNDICE E — Informações referente à estrutura pensada do projeto

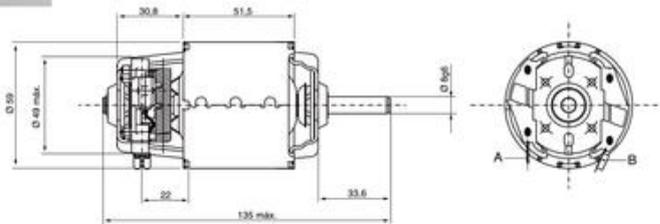
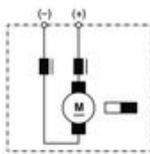
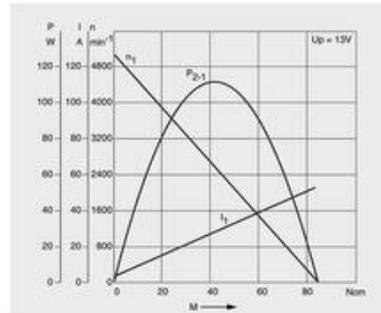
MEDIDAS



ANEXO A — Folhas de dados motor DC

BOSCH**CPB 9 130 081 051****12 V 55 W**

U_N	12 V
P_N	55 W
n_N	4350 rpm
I_N	16 A
M_N	12 Ncm
M_A	84 Ncm
Rot.	R
S	S1
IP	IP 10
kg	0,670 kg
Ⓜ	9 130 081 051



A Conexão (+) Terminal chato de 6,3 x 0,8
 Conexión (+) Terminal plano de 6,3 x 0,8
 Connection (+) Flat terminal 6,3 x 0,8

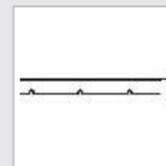
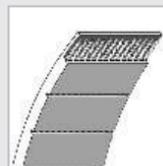
B Conexão (-) Terminal fêmea para terminal macho de 6,3 x 0,8
 Conexión (-) Terminal hembra para terminal macho de 6,3 x 0,8
 Connection (-) Female terminal for male terminal 6,3 x 0,8

CASA FERREIRA
 R. Florêncio de Abreu, 150 - Centro - São Paulo - SP
 Tel. (11) 3326.3099 - Fax (11) 3228.3047
 Site: www.casaferreira.com.br E-mail: vendas@casaferreira.com.br

ANEXO B — Folha de especificações da correia plana

CONTI® POLYFLAT

Para configurações de acionamento com economia de espaço em sistemas de elevadores.

**PROPRIEDADES**

- resistência ao desgaste
- resistência à graxa e ao óleo
- resistência à combustíveis e ao benzeno
- resistência à hidrólise
- resistência aos raios UV e ao ozônio
- resistência para temperatura de -30°C até +80°C (solicite ajuda técnica para temperaturas abaixo de -10°C e acima de +50°C)
- pode ser emendada com termoplásticos

Correias planas

Cabos de tração alternativos, largura intermediárias, comprimentos curtos e correias emendadas conforme pedido (comprimento mínimo 1000 mm).

ESPECIFICAÇÃO**M30 - F - 20 - HP**

(A) (B) (C) (D)

- (A) M30 = Comprimento do rolo (m)
- (B) F = Correia plana Conti Polyflat
- (C) 20 = Largura da correia 20mm
- (D) HP = Tipo do cabo de tração HP (high power)

ESPECIFICAÇÃO**M30 - F - 20 - V - 2500mm**

(A) (B) (C) (D)

- (A) M30 = Comprimento do rolo (m)
- (B) 8M = Passo 8M
- (C) 50 = Largura da correia 50mm
- (D) -V- = Emendada, ex.: uma correia com compr. de 2.500mm

	F HP	F HF	F HS	F XHP	F XHS
Espessura h (mm)	2,3	2,1	2,5	3,0	4,5

- HP Cabo de tração reforçado (padrão)
- HF Cabo de tração flexível (padrão)
- HS Cabo de tração com resistência elevada
- XHP Cabo de tração com resistência extra-elevada
- XHS Cabo de tração com resistência extremamente extra-elevada

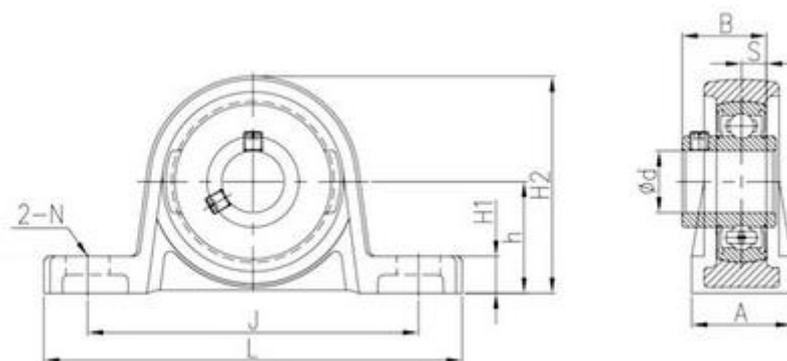
Perfil HP		Perfil HF		Perfil HS		Perfil XHP	
Referência	Largura (mm)	Referência	Largura (mm)	Referência	Largura (mm)	Referência	Largura (mm)
F HP - 10	10,0	F HF - 10	10,0	F HS - 10	10,0	F XHP - 15	15,0
F HP - 15	15,0	F HF - 15	15,0	F HS - 15	15,0	F XHP - 20	20,0
F HP - 20	20,0	F HF - 20	20,0	F HS - 20	20,0	F XHP - 25	25,0
F HP - 25	25,0	F HF - 25	25,0	F HS - 25	25,0	F XHP - 30	30,0
F HP - 30	30,0	F HF - 30	30,0	F HS - 30	30,0	F XHP - 40	40,0
F HP - 40	40,0	F HF - 40	40,0	F HS - 40	40,0	F XHP - 50	50,0
F HP - 50	50,0	F HF - 50	50,0	F HS - 85	85,0	F XHP - 85	85,0
F HP - 85	85,0	F HF - 85	85,0	F HS - 100	100,0	F XHP - 100	100,0
F HP - 100	100,0	F HF - 100	100,0	F HS - 120	120,0	F XHP - 120	120,0
F HP - 120	120,0						

Perfil XHS	
Referência	Largura (mm)
F XHS - 40	40,0
F XHS - 50	50,0
F XHS - 85	85,0
F XHS - 100	100,0
F XHS - 120	120,0



ANEXO C — Desenho mecânico mancal com rolamento

Mancal modelo Kp002



Fonte: Adaptado de Mancal com rolamento, Mercado Livre

Tabela 22 – Medidas do mancal utilizado

Modelo	d (mm)	L (mm)	J (mm)	h (mm)	H1 (mm)	H2 (mm)	B (mm)	A (mm)	N (mm)	Parafuso
Kp002	15	80	63	22	7	43	18,5	16	7	M6

Fonte: Adaptado de Mancal com rolamento, Mercado Livre

Tabela 23 — Informações extras do mancal utilizado

Chave recomendada (mm)	Modelo rolamento	Modelo caixa
2,0	K002	P002

Fonte: Adaptado de Mancal com rolamento, Mercado Livre

ANEXO D — Folha de dados do pé de nivelamento escolhido

K0674**Pés niveladores redondos**

Descrição do artigo/Imagens dos produtos

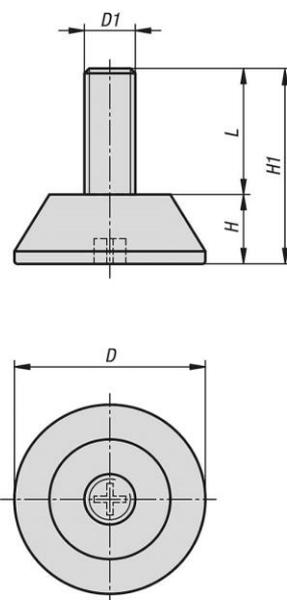
**Descrição**

Material:
Poliamida.
Parafuso em aço.

Versão:
preto.
Parafuso galvanizado.

Indicação:
Pé nivelador com fenda cruzada em base de prato como suporte de montagem.
Versão rígida.

Desenhos



Visão geral dos artigos

Pés niveladores redondos

© HEINRICH KIPP WERK GmbH & Co. KG

www.kipp.com - info@kipp.com 1/2

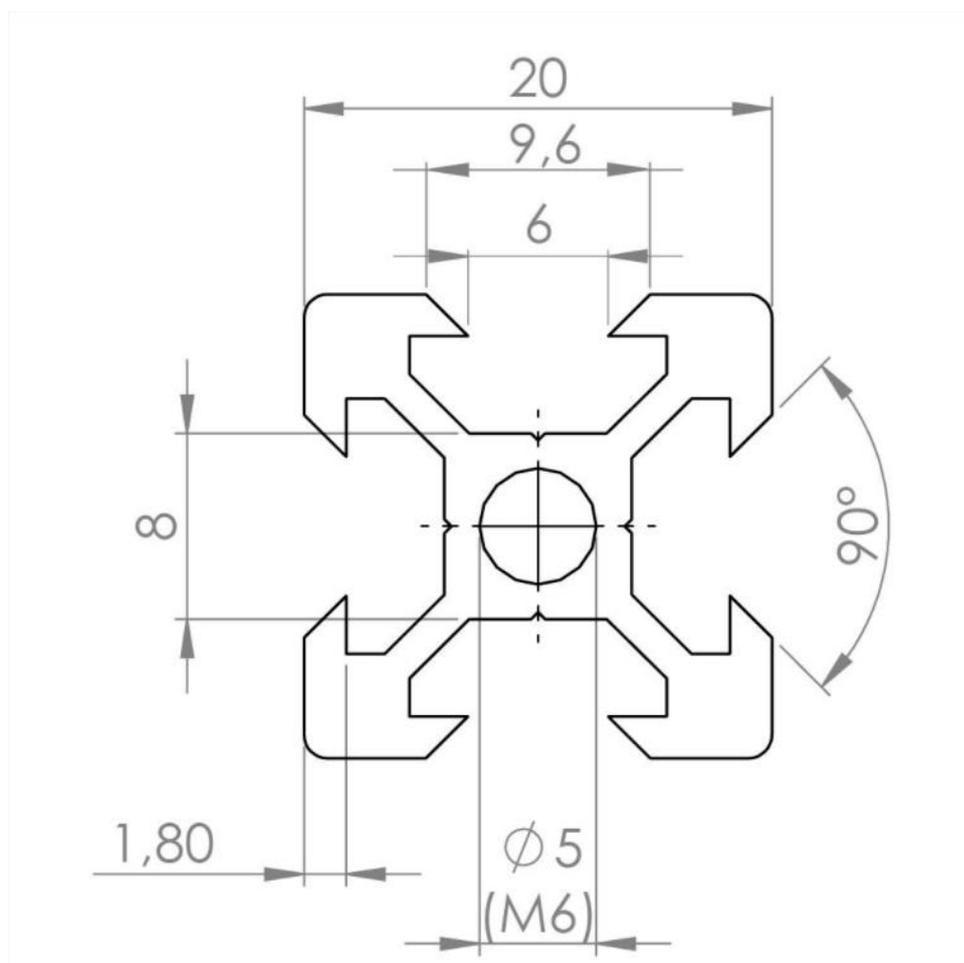
Fonte: Pés niveladores redondos, Kipp

Tabela 24 — Dimensões pé de nivelamento

Código do modelo	D (mm)	D1 (mm)	H (mm)	H1 (mm)	L (mm)
K0674.3006X020	30	M6	11	31	20

Fonte: Adaptado de Pés niveladores redondos, Kipp

ANEXO E — Desenho mecânico do perfil de alumínio escolhido



Fonte: Adaptado de Perfil Estrutural em Alumínio - Forseti Usinagem

Tabela 25 — Informações sobre o perfil de alumínio

Código	Marca	Comprimento
PF20-11-C3	FORSETI	ver Tabela 8

Fonte: Adaptado de Perfil Estrutural em Alumínio - Forseti Usinagem

ANEXO F – informações referentes ao órgão Hammond

April 24, 1934.

L. HAMMOND

1,956,350

ELECTRICAL MUSICAL INSTRUMENT

Filed Jan. 19, 1934

18 Sheets—Sheet 18

C ₄	49	16	114	85	174	52	583.076	583.251	61	68	73	77	80	83
C ₅	50	16	121	71	181	41	554.146	554.365	62	69	74	78	81	86
D ₄	51	16	116	134	176	73	587.397	587.329	63	70	75	79	82	87
D ₅	52	16	123	105	183	54	622.222	622.253	64	71	76	80	83	88
E ₄	53	16	118	103	178	50	659.200	659.255	65	72	77	81	84	89
E ₅	54	32	113	84	173	77	698.181	698.456	66	73	78	82	85	—
F ₄	55	32	120	74	180	64	740.000	739.988	67	74	79	83	86	—
F ₅	56	32	115	98	175	80	784.000	783.991	68	75	80	84	87	—
G ₄	57	32	122	96	182	74	830.270	830.609	69	76	81	85	88	—
A ₄	58	32	117	88	177	64	880.000	880.000	70	77	82	86	89	—
A ₅	59	32	124	67	184	46	932.173	932.327	71	78	83	87	—	—
B ₄	60	32	119	108	179	70	987.428	987.766	72	79	84	88	—	—
C ₅	61	32	114	85	174	52	1046.153	1046.502	73	80	85	89	—	—
C ₆	62	32	121	71	181	41	1108.292	1108.730	74	81	86	—	—	—
D ₅	63	32	116	134	176	73	1174.794	1174.659	75	82	87	—	—	—
D ₆	64	32	123	105	183	54	1244.444	1244.507	76	83	88	—	—	—
E ₅	65	32	118	103	178	50	1318.400	1318.510	77	84	89	—	—	—
F ₅	66	64	113	84	173	77	1396.363	1396.912	78	85	—	—	—	—
F ₆	67	64	120	74	180	64	1480.000	1479.976	79	86	—	—	—	—
G ₅	68	64	115	98	175	80	1568.000	1567.988	80	87	—	—	—	—
G ₆	69	64	122	96	182	74	1660.540	1661.218	81	88	—	—	—	—
A ₅	70	64	117	88	177	64	1760.000	1760.000	82	89	—	—	—	—
A ₆	71	64	124	67	184	46	1864.346	1864.654	83	—	—	—	—	—
B ₅	72	64	119	108	179	70	1974.856	1975.532	84	—	—	—	—	—
C ₆	73	64	114	85	174	52	2092.306	2093.002	85	—	—	—	—	—
—	74	64	121	71	181	41	2216.584	2217.460	—	—	—	—	—	—
—	75	64	116	134	176	73	2349.588	2349.318	—	—	—	—	—	—
—	76	64	123	105	183	54	2488.888	2489.014	—	—	—	—	—	—
—	77	64	118	103	178	50	2636.800	2637.020	—	—	—	—	—	—
—	78	128	113	84	173	77	2792.727	2793.824	—	—	—	—	—	—
—	79	128	120	74	180	64	2960.000	2959.952	—	—	—	—	—	—
—	80	128	115	98	175	80	3136.000	3135.964	—	—	—	—	—	—
—	81	128	122	96	182	74	3321.080	3322.436	—	—	—	—	—	—
—	82	128	117	88	177	64	3520.000	3520.000	—	—	—	—	—	—
—	83	128	124	67	184	46	3728.693	3729.308	—	—	—	—	—	—
—	84	128	119	108	179	70	3949.713	3951.064	—	—	—	—	—	—
—	85	128	114	85	174	52	4184.613	4186.008	—	—	—	—	—	—
—	86	128	121	71	181	41	4433.160	4434.920	—	—	—	—	—	—
—	87	128	116	134	176	73	4699.177	4698.636	—	—	—	—	—	—
—	88	128	123	105	183	54	4977.777	4978.028	—	—	—	—	—	—
—	89	128	118	103	178	50	5273.600	5274.040	—	—	—	—	—	—
Ref. Char. of Key	Ref. Char.	No. of High Points	Ref. Char.	No. Teeth	Ref. Char.	No. Teeth	Frequency	Current Generated	Theoretical	Ref. Char. of 2n Rotor	"	"	"	"
			Driving Gear for n Rotor		Driven Gear for n Rotor		of	Theoretical	Frequency of Note in Equally Tempered Musical Scale A=440	"	"	"	"	"
			n ROTOR								"	"	"	"
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)

April 24, 1934.

L. HAMMOND

1,956,350

ELECTRICAL MUSICAL INSTRUMENT

Filed Jan. 19, 1934

18 Sheets—Sheet 18

C ₂	49	16	114	85	174	52	523.076	523.251	61	68	73	77	80	85	
C ₂ [#]	50	16	121	71	181	41	554.146	554.365	62	69	74	78	81	86	
D ₂	51	16	116	134	176	73	587.397	587.329	63	70	75	79	82	87	
D ₂ [#]	52	16	123	105	183	54	622.222	622.253	64	71	76	80	83	88	
E ₂	53	16	118	103	178	50	659.200	659.255	65	72	77	81	84	89	
F ₂	54	32	113	84	173	77	698.181	698.456	66	73	78	82	85	—	
F ₂ [#]	55	32	120	74	180	64	740.000	739.988	67	74	79	83	86	—	
G ₂	56	32	115	98	175	80	784.000	783.991	68	75	80	84	87	—	
G ₂ [#]	57	32	122	96	182	74	830.270	830.609	69	76	81	85	88	—	
A ₂	58	32	117	88	177	64	880.000	880.000	70	77	82	86	89	—	
A ₂ [#]	59	32	124	67	184	46	932.173	932.327	71	78	83	87	—	—	
B ₂	60	32	119	108	179	70	987.428	987.766	72	79	84	88	—	—	
C ₃	61	32	114	85	174	52	1046.153	1046.502	73	80	85	89	—	—	
C ₃ [#]	62	32	121	71	181	41	1108.292	1108.730	74	81	86	—	—	—	
D ₃	63	32	116	134	176	73	1174.794	1174.659	75	82	87	—	—	—	
D ₃ [#]	64	32	123	105	183	54	1244.444	1244.507	76	83	88	—	—	—	
E ₃	65	32	118	103	178	50	1318.400	1318.310	77	84	89	—	—	—	
F ₃	66	64	113	84	173	77	1396.363	1396.912	78	85	—	—	—	—	
F ₃ [#]	67	64	120	74	180	64	1480.000	1479.976	79	86	—	—	—	—	
G ₃	68	64	115	98	175	80	1568.000	1567.988	80	87	—	—	—	—	
G ₃ [#]	69	64	122	96	182	74	1660.540	1661.218	81	88	—	—	—	—	
A ₃	70	64	117	88	177	64	1760.000	1760.000	82	89	—	—	—	—	
A ₃ [#]	71	64	124	67	184	46	1864.346	1864.654	83	—	—	—	—	—	
B ₃	72	64	119	108	179	70	1974.856	1975.532	84	—	—	—	—	—	
C ₄	73	64	114	85	174	52	2092.906	2093.004	85	—	—	—	—	—	
—	74	64	121	71	181	41	2216.584	2217.460	—	—	—	—	—	—	
—	75	64	116	134	176	73	2349.588	2349.318	—	—	—	—	—	—	
—	76	64	123	105	183	54	2488.888	2489.014	—	—	—	—	—	—	
—	77	64	118	103	178	50	2636.800	2637.020	—	—	—	—	—	—	
—	78	128	113	84	173	77	2792.727	2793.824	—	—	—	—	—	—	
—	79	128	120	74	180	64	2960.000	2959.952	—	—	—	—	—	—	
—	80	128	115	98	175	80	3136.000	3135.964	—	—	—	—	—	—	
—	81	128	122	96	182	74	3321.080	3322.436	—	—	—	—	—	—	
—	82	128	117	88	177	64	3520.000	3520.000	—	—	—	—	—	—	
—	83	128	124	67	184	46	3728.693	3729.308	—	—	—	—	—	—	
—	84	128	119	108	179	70	3949.713	3951.064	—	—	—	—	—	—	
—	85	128	114	85	174	52	4184.613	4186.008	—	—	—	—	—	—	
—	86	128	121	71	181	41	4433.160	4434.920	—	—	—	—	—	—	
—	87	128	116	134	176	73	4699.177	4698.696	—	—	—	—	—	—	
—	88	128	123	105	183	54	4977.777	4978.028	—	—	—	—	—	—	
—	89	128	118	103	178	50	5273.600	5274.040	—	—	—	—	—	—	
Ref. Char. of Key	Ref. Char.	No. of High Points	Ref. Char.	No. Teeth	Ref. Char.	No. Teeth	Frequency of Current Generated	Theoretical Frequency of Note in Equally Tempered Musical Scale A=440	Ref. Char. of 2n Rotor	" " " 3n "	" " " 4n "	" " " 5n "	" " " 6n "	" " " 8n "	
			Driving Gear for n Rotor		Driven Gear for n Rotor										
			n ROTOR												
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	