

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UniEVANGÉLICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

DAVI LUCIANO SOUZA ARGOLLO
SAMUEL DA LUZ DOURADO

**UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AVALIAÇÃO DE
NÍVEL DE REPERTÓRIOS DE PIANO**

ANÁPOLIS - GO

2020-02

DAVI LUCIANO SOUZA ARGOLLO
SAMUEL DA LUZ DOURADO

**UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA AVALIAÇÃO DE
NÍVEL DE REPERTÓRIOS DE PIANO**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado
como requisito parcial para a conclusão do curso
de Bacharelado em Engenharia de Computação
do Centro Universitário de Anápolis –
UniEVANGÉLICA.

Orientador(a): Profa. Ma. Natasha Sophie Pereira

ANÁPOLIS

2020

RESUMO

Ao iniciar no estudo de um instrumento musical, principalmente no que rege à instrumentos clássicos tal como piano, violino, etc., para garantir um bom aprendizado, é necessária uma rotina consistindo em muita prática de exercícios para desenvolvimento de técnica e estudo de repertórios dos mais variados. Ao longo dos anos, surgiu uma grande quantidade de materiais cada vez mais acessíveis devido ao grande avanço tecnológico provindo da internet, porém, nem todos os repertórios são criados de forma igual e, o seu nível de dificuldade pode variar muito devido à vários motivos. Dentre esses motivos, podemos citar o número de notas a serem tocadas em um único trecho, os intervalos presentes entre as notas tocadas e a velocidade que elas devem ser tocadas. Para isso, objetivou-se aplicar inteligência artificial para análise de partituras, a fim de determinar o seu nível de dificuldade. Dessa forma, alunos que possuem interesse em partituras dos mais diferentes níveis, podem sempre estar estudando dentro de seus limites. Como forma de medir cada um dos níveis, foi utilizada uma base de dados que reúne partituras desenvolvidas para testes de nível, com ênfase em piano, denominada Piano Syllabus. A base de dados reúne informações de todas os editais publicados ao redor do mundo de várias escolas de música renomadas, e, agrupa os dados em uma única tabela, criando uma média dos níveis das partituras em si. Ao final do trabalho, não foi possível desenvolver o objetivo definido, de criar a rede neural proposta que resolve o problema proposto.

Palavras-chave: AI. Piano. Partituras. Reconhecimento de Padrões. Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1. Notas de duas escalas hexafônicas.....	9
Figura 2. Principais símbolos encontrados em partituras.....	10
Figura 3. Símbolos representando duração das notas musicais.....	10
Figura 4. Sistema que representa pausas das notações musicais.....	11
Figura 5. Armaduras de claves de 16 campos harmônicos maiores e menores.....	13
Figura 6. Corpo de um neurônio.....	16
Figura 7. Modelo simplificado do sistema nervoso.....	16
Figura 8. Modelo matemático de um neurônio.....	17
Figura 9. Tabela de dados obtidos no <i>Piano Syllabus</i>	20
Figura 10. Passos para desenvolvimento da AI.....	22
Figura 11. Nomes das notas, números midi e frequências.....	25
Figura 12. Representação de uma rede neural densa.....	26

Quadros

Quadro 1. Equivalência e convenções de aproximações verbais musicais.....	12
Quadro 2. Quantidade de exemplos por classe.....	24
Quadro 3. Exemplo de mensagem midi.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	Inteligência Artificial, do inglês <i>Artificial Intelligence</i>
API	Interface de Programação de Aplicações, do inglês <i>Application Programming Interface</i>
ANN	Redes Neurais Artificiais, do inglês <i>Artificial Neural Networks</i>
ABRSM	Conselho Associado das Escolas Reais de Música, do inglês <i>Associated Board of the Royal Schools of Music</i>
AGME	Aliança Australiano de Educação Musical, do inglês <i>Australian Guild of Music Education</i>
AMEB	Conselho de Educação Musical da Austrália, do inglês <i>Australian Music Education Board</i>
MIDI	Interface Digital de Instrumentos Musicais do inglês <i>Musical Instrument Digital Interface</i>

SUMÁRIO

1. Introdução.....	6
1.1. Problema	6
1.2. Objetivos	6
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	6
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
1.3. Justificativa	7
2. Fundamentação Teórica	8
2.1. Notação Musical	8
2.1.1. <i>Altura e Duração</i>	10
2.1.2. <i>Harmonia</i>	11
2.1.3. <i>Ritmo</i>	11
2.1.4. <i>Tempo e Duração</i>	12
2.1.5. <i>Acidentais</i>	13
2.2. Protocolo MIDI.....	13
2.3. Inteligência Artificial	14
2.3.1. <i>Redes Neurais Biológicas e o Sistema Nervoso</i>	15
2.3.2. <i>Redes Neurais Artificiais</i>	17
2.3.3. <i>Aprendizado de Máquina</i>	18
2.3.4. <i>Algoritmo de Aprendizado Supervisionado</i>	19
3. Metodologia.....	20
4. Resultados.....	23
4.1. Resultados alcançados	23
4.1.1. <i>Examinando e compreendendo o grupo de dados</i>	24
4.1.2. <i>Preparando o conjunto de dados</i>	24
4.1.3. <i>Desenvolvimento do modelo da Rede Neural</i>	26
4.1.4. <i>Treinamento da Rede Neural</i>	27
4.1.5. <i>Avaliando os resultados obtidos</i>	28
4.2. Trabalhos futuros	28
Referências	29

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problema

Durante o processo de aprendizagem de um instrumento musical, qualquer que seja ele, existe a necessidade de se realizar diversas atividades, as quais complementam e impulsionam o indivíduo a tocar de forma adequada e consistente. Alguns instrumentos, no entanto, possuem uma curva de aprendizagem exponencial, que, mesmo após muitos anos de treinamento, ainda apresenta alunos com dificuldades no que tange a técnica e a prática (CHANG, 2004).

Esse fato é evidenciado principalmente em instrumentos clássicos como o violino e o piano, visto que ambos possuem uma infinidade de técnicas e repertórios para os mais diferentes níveis de habilidades, o que acaba por gerar dúvidas e dificuldades para alunos iniciantes que, em sua maioria, se encontram em um cenário onde as músicas disponíveis ou pesquisadas são muito fáceis ou extremamente complexas (CHANG, 2004; PARNCUTT e TROUP, 2011).

Neste cenário, fica evidenciado o problema enfrentado por alunos ao aprender a tocar um instrumento clássico, sendo assim, como desenvolver um *software* que utiliza inteligência artificial para classificar repertórios de piano de acordo com os diferentes níveis de proficiência de um estudante?

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo Geral*

Produzir e treinar uma Rede Neural que realize a classificação de repertórios musicais de piano, de acordo com o nível de proficiência necessária no instrumento por parte do aluno para interpretá-los e tocá-los.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar o tipo da Rede Neural a ser usada para desenvolvimento do trabalho;
- Desenvolver uma Rede Neural capaz de classificar repertórios musicais de piano de acordo com seu nível de dificuldade;
- Treinar a Rede Neural com base em exemplos de repertórios para piano rotulados por nível de dificuldade.

1.3. Justificativa

Observando-se a falta de uma ferramenta que realizasse o processo de classificação de repertórios de piano, notou-se a viabilidade de elaborar um projeto de desenvolvimento com ênfase nesse tema, especificamente, em repertórios de piano.

O projeto tem por foco, portanto, a criação de um *software* para realizar a classificação de repertórios de piano e gerar por meio do mesmo uma métrica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Notação Musical

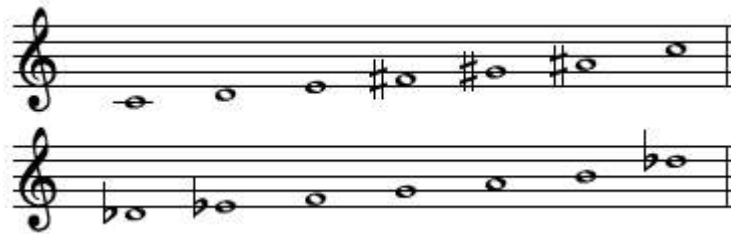
Notação musical é o registro visual de sons imaginados ou escutados, ou um conjunto de instruções visuais para performances musicais. Normalmente é apresentada na forma escrita ou impressa e a sua leitura e criação um processo consciente, relativamente trabalhoso. O seu uso acontece por um de dois motivos: i) como lembrança; ou ii) como forma de comunicação. Como forma de comunicação, ajuda a delinear uma composição a um nível de detalhamento que é impossível com apenas registros orais, passados através de gerações. Como lembrança, ela serve como um meio de preservar a música (mesmo que de forma incompleta e imperfeita) através de longos períodos, facilitando a sua performance por outros músicos, e apresentando a música de uma forma apropriada para estudos e análises (BENT, 1998).

Compreender uma partitura exige como habilidade específica a capacidade de ler uma notação musical. Em performances ao vivo, exceto performances solo onde é esperado que haja memorização por parte do artista, músicos costumam ter partituras em mão para referência, um exemplo disso são os músicos de orquestras de música clássica (NODA, 2008).

Os elementos principais da música são a altura, ou a localização de uma nota musical em uma escala (um intervalo ou distância entre notas); duração (ritmo, tempo, métrica); timbre ou coloração do tom; e volume (estresse, ataque). Na prática, nenhum tipo de partitura pode representar todos esses elementos com precisão, portanto, a maioria lida com apenas uma seleção desses em graus diferentes de refinamento. Alguns tratam apenas de um padrão, como por exemplo uma melodia, um ritmo; outros lidam com vários padrões ao mesmo tempo (BENT, 1998).

Na Figura 1, pode-se observar um exemplo de partitura, representando duas escalas hexafônicas em forma ascendente. No canto esquerdo de ambas as linhas, está localizada a representação da armadura de clave, já nas linhas, se encontram os elementos básicos da partitura, como cada uma das notas em seus registros correspondentes e a sua duração, representada pelo símbolo da nota.

Figura 1. Notas de duas escalas hexafônicas.



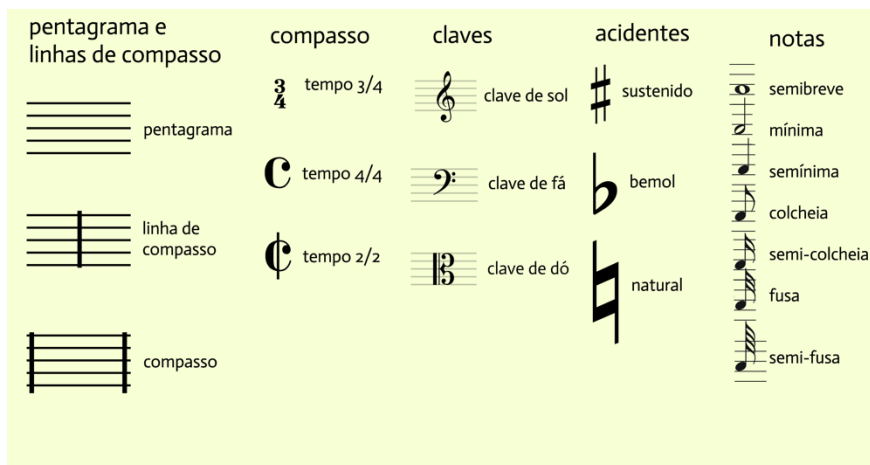
Fonte: (BENT, 1998).

Na atualidade, partituras podem ser publicadas em vários tipos de formatos. Se a composição é para apenas um instrumento, toda a partitura pode ser escrita ou impressa em um único meio. Já no caso de composições para dois ou mais instrumentos, toda a peça pode ser escrita em trechos separados ou dividida por nomes em cada seção apresentada (NODA, 2008).

O uso do pentagrama, que é a representação visual das 5 linhas horizontais em uma partitura e representa a altura das notas tocadas, e sua citação como principal meio de notação musical é devido ao fato de este ser a notação musical mais aceita atualmente no mundo. O seu uso abrangente é um resultado da colonização, atividades missionárias, dentre outros, que culminou em ser uma linguagem falada por muitas culturas musicais (BENT, 1998).

Na Figura 2, pode-se observar os principais símbolos encontrados nas partituras: na primeira coluna estão os pentagramas e os compassos; na segunda, estão descritas as subdivisões do tempo a ser tocado em uma música; na terceira coluna estão descritas as claves em que uma música pode ser tocada, a primeira sendo a clave de sol, a segunda a clave de fá e a terceira a clave de dó; na quarta coluna pode-se ver os tipos de acidentais, tal como, na ordem que aparecem: os sustenidos, os bemóis, os naturais, os duplos sustenidos e os duplos bemóis; na quinta coluna estão definidos os tipos de notas e suas durações correspondentes seguidos por, na sexta coluna, as pausas equivalentes.

Figura 2. Principais símbolos encontrados em partituras.

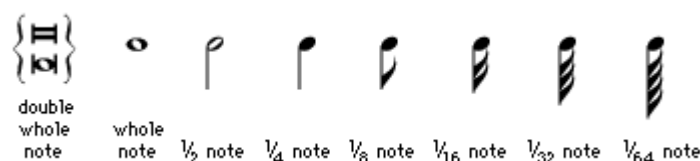


Fonte: (IAN D., 1998).

2.1.1. Altura e Duração

A notação musical é basicamente um grafo matemático. O seu eixo vertical é a altura, e o eixo horizontal é o tempo. As cabeças das notas são pontos delineando a curva do grafo. As cinco linhas horizontais de um pentagrama agem como pautas ou linhas guia de uma régua no papel. Na prática, o sistema é bem mais complexo e sofisticado que isso, porém, para fins didáticos, simplifiquemos a esses conceitos. O eixo vertical da altura trabalha para representar o contorno melódico na música para um único instrumento ou voz, porém, quando vários pentagramas são combinados para formar uma partitura, os conceitos básicos operam de forma diferente, cada pentagrama se tornando um sistema vertical único. As representações de tempo de acordo com o espaçamento horizontal são usadas apenas de forma limitada. Na verdade, foi feito de forma quase que redundante, pois, o símbolo de uma nota dá a informação da duração de si mesmo e não dos símbolos à sua volta. (BENT, 1998). Os símbolos de duração são os seguintes, cada um com a duração da metade do elemento diretamente à sua esquerda, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3. Símbolos representando duração das notas musicais.



Fonte: (IAN D., 1998)

O sistema de “pausas” representa exatamente a mesma ideia, porém, com notações diferentes, como pode ser visto na Figura 4. Sistema que representa pausas das notações musicais.

Figura 4. Sistema que representa pausas das notações musicais.



Fonte: (BENT, 1998)

Um ponto localizado no canto direito de uma nota aumenta a sua duração por metade da duração da nota. Tais símbolos quando colocados em um pentagrama, indicam a altura relativa e tempo relativo (BENT, 1998).

2.1.2. *Harmonia*

A harmonia musical é definida pelo ato de duas ou mais notas serem tocadas ao mesmo tempo, formando harmonias. Ao tocar notas simultaneamente, produzimos o que é chamado de acorde, que nada mais é que uma harmonia. Um exemplo básico de acorde seria uma tríade (acorde formado por três notas) de dó maior e que é composto pelas notas dó, mi e sol.

2.1.3. *Ritmo*

O ritmo musical trata-se da frequência na qual as notas são tocadas por um instrumento; existem instrumentos por exemplo, que são puramente rítmicos, como a bateria acústica. Alguns outros instrumentos, como o piano, são considerados instrumentos melódicos e rítmicos. A frequência na qual as notas são tocadas é definida por símbolos que são colocado no canto superior de uma partitura, tais como 4/4, 3/4, 6/8, etc. Essa convenção define o tempo de uma música, ou seja, a quantidade de notas tocadas em cada compasso musical. A primeira parte do símbolo, define a quantidade de notas a serem tocadas naquele compasso, já a segunda parte define o tipo de nota que será tocado nele, nesse caso, uma semínima.

2.1.4. Tempo e Duração

A marcação do tempo é um símbolo que está localizado no lado de fora de uma partitura. Ela aparece acima dela e pode ter uma duração fixa por toda uma música, por exemplo, “♩ = 120” significa que a nota representada pelo símbolo dura 1/120 de um minuto, ou meio segundo; ou ela pode ser uma aproximação verbal indicando um tempo aceito por convenções, tal como *allegro*, *moderato*, *presto*, dentre outros (BENT, 1998).

Tabela 1. Equivalência e aproximações verbais de tempo

Termo	BPM
<i>Gravissimo</i>	1-19
<i>Grave</i>	20-40
<i>Larghissimo</i>	40-45
<i>Largo</i>	45-50
<i>Larghetto</i>	50-55
<i>Adagio</i>	55-65
<i>Adagietto</i>	65-69
<i>Andantino</i>	78-83
<i>Marcia Moderato</i>	83-85
<i>Andante</i>	75-107
<i>Andante Moderato</i>	90-100
<i>Moderato</i>	108-112

Fontes: Os autores

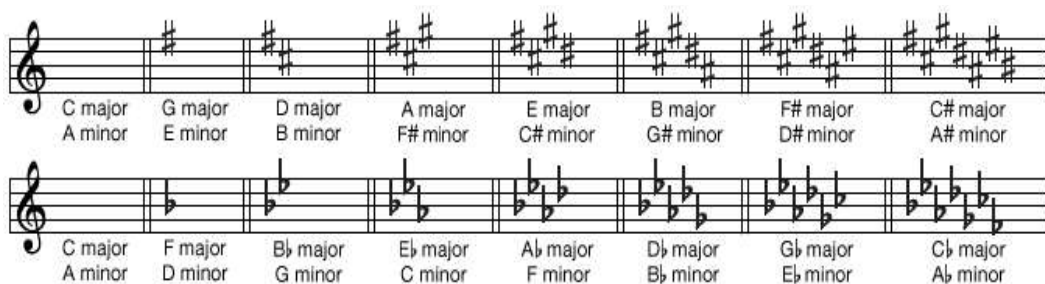
A notação musical utilizada no ocidente é muito bem adaptada no que diz respeito à harmonia e ao ritmo. Na harmonia, os símbolos das notas podem ser facilmente agrupados verticalmente em um único símbolo, e essas notas não precisam ter a mesma duração, ou, mais de um símbolo pode ser usado para indicar várias linhas melódicas. No que tange ao ritmo, o pulso, batida ou estresse também devem ser indicadas. Esse fato ocorre graças às subdivisões de compassos, que são marcados por uma linha vertical, e o tempo. Os compassos indicam o principal ponto de estresse e normalmente possuem o mesmo espaçamento. O tempo indica, primeiramente, a duração do espaço entre dois compassos e, também os padrões de estresse dentro daquele espaço. Um sistema complementar de união de notas é também utilizado, no qual duas ou mais notas são unidas por uma linha horizontal logo acima das notas (BENT, 1998).

2.1.5. Acidentais

As partituras também dependem fortemente do sistema ocidental de escalas musicais, no qual se assume que todas as notas sejam notas naturais (que não sejam sustenidos ou bemóis) a não ser que estejam em uma armadura de clave específica. Um acidental (♭ ou bemol, # ou sustenido) é um aumento ou diminuição temporária de um tom por um semitom; uma armadura de clave define o uso desses símbolos de uma forma melhor definida, válida até o fim de uma partitura inteira ou, até ser sobrescrita por outra armadura de clave. Existem também o acidental natural (♮) que faz exatamente o oposto dos bemóis e sustenidos, retornando uma nota que já havia sido alterada por eles, ao seu estado original. Qualquer combinação de bemóis e sustenidos é teoricamente possível, porém, as combinações que são realmente usadas são normalmente as utilizadas pelo sistema ocidental de tons, ou grupos de notas e acordes não relacionados (BENT, 1998).

A seguir, estão representadas armaduras de clave de 16 campos harmônicos maiores e menores, a sua utilização é feita ao lado da clave da partitura.

Figura 5. Armaduras de claves de 16 campos harmônicos maiores e menores.



Fonte: (BENT, 1998)

2.2. Protocolo MIDI

MIDI é um protocolo que permite instrumentos musicais eletrônicos (teclados, sintetizadores, etc) a se comunicar entre si e com computadores (HOSCH, 2009).

O protocolo é composto por um conjunto de instruções ou mensagens MIDI, que especificam para um instrumento compatível quais notas devem ser tocadas e quão forte elas devem ser tocadas, com quais efeitos e qual tempo e volume relativo. Um controlador MIDI, tal como um teclado, pode ser usado para transmitir informações para um ou mais instrumentos MIDI. (HOSCH, 2009).

Dos dados passados entre os instrumentos MIDI, é enviada uma sequência de bytes, na qual cada byte pode ser um número de 0 a 255. Os bytes MIDI são subdivididos em dois grupos principais: comando e dado (VANDENNEUCKER, 2012).

Os bytes de dados são usados normalmente para transmitir número de notas, velocidade de ataque de uma nota, posições de pedal de um piano, volume, número de instrumento, etc. Já os bytes de comando são os primeiros bytes de mensagens MIDI os quais são seguidos de um número fixo de outros bytes de dados. Por exemplo, uma mensagem para o C4 de um piano seria algo como **128 60 100** (VANDENNEUCKER, 2012).

Note que o primeiro número está dentro do faixa do bytes de comando 128-255. O byte de comando 128 significa “acione uma nota”. Este comando requer dois outros bytes de data que o seguem, o primeiro se refere a qual nota deve ser tocada, nesse caso a nota de número 60 (C4) e logo após, a força na qual ela deve ser tocada, nesse caso 100 de 127 como valor máximo (VANDENNEUCKER, 2012).

2.3. Inteligência Artificial

Como o conceito de inteligência artificial (AI, do inglês *Artificial Intelligence*) está diretamente relacionado ao conceito de inteligência biológica, ou seja, para definir o primeiro propriamente é necessário estabelecer um significado claro para o segundo. Porém, essa não é uma tarefa simples, tendo em vista que existem muitas definições para o conceito de inteligência e vários conceitos que abordam diferentes aspectos dessa característica humana. No contexto da inteligência artificial, uma definição conveniente para inteligência é a de que ela deve ser facilmente verificável e mensurável. Segundo Coppin (2004, p. 4) pode-se definir inteligência como sendo “uma capacidade de lidar com novas situações; a capacidade de solucionar problemas, de responder questões, de agendar planos e assim por diante”.

Consequentemente, pode-se concluir que Inteligência Artificial é o estudo dos sistemas que agem de modo que, para um observador qualquer, pareça ser inteligente (COPPIN, 2004). No entanto em muitos casos esse comportamento dito “inteligente” pode não estar aparente. Um exemplo disso é quando são utilizadas técnicas de AI para solucionar problemas simples ou problemas complexos que fazem parte de problemas maiores. Nesse caso, outra possível definição para inteligência artificial seria aquela que

“envolve utilizar métodos baseados nos comportamentos inteligentes dos humanos e outros animais para solucionar problemas complexos.” (COPPIN, 2004, p. 25).

Através da aplicação dos métodos de inteligência artificial, é possível desenvolver sistemas inteligentes para realizar tarefas de alta complexidade computacional. Tais sistemas baseados em inteligência artificial são utilizados para solucionar problemas extremamente genéricos ou com grande número de variáveis. Para esse tipo de cenário, o desenvolvimento de algoritmos convencionais é praticamente inviável (HAYKIN, 2017).

Devido a essas características, o interesse em sistemas inteligentes aumenta cada vez mais (REZENDE, 2003). Segundo Rezende (2003), a globalização da economia promoveu grandes mudanças no mercado, gerando uma necessidade de empresas investirem cada vez mais em tecnologia, sistemas de tecnologia de informação são grandes exemplos desse fato. Atualmente a capacidade de gerenciar e interpretar informação é crucial para o sucesso econômico, portanto, os métodos de inteligência artificial podem ser grandes aliados no processo de descoberta de conhecimento sobre grandes massas de dados.

Segundo o relatório do AI index¹ de 2018, o número de publicações relacionadas a inteligência artificial aumenta a cada ano. Prova disso é que entre os anos de 2000 e 2018 houve um crescimento de 300% no número de publicações científicas relacionadas à AI (SHOHAM *et al.*, 2018). Grande parte do aumento do interesse se deve ao conjunto de vantagens que podem ser alcançadas por meio da utilização de rede neurais.

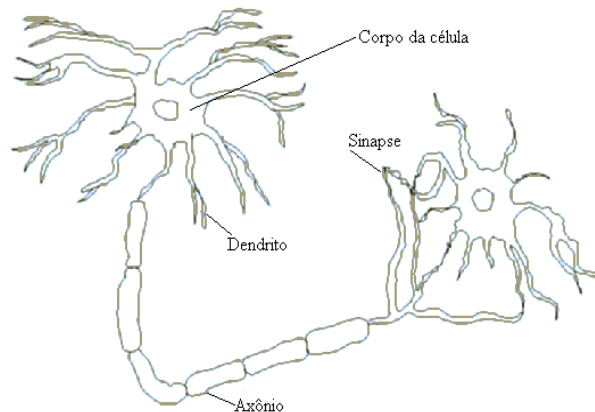
2.3.1. Redes Neurais Biológicas e o Sistema Nervoso

O sistema nervoso é formado por um conjunto extremamente complexo de células que controlam todos os sinais e as ações dos seres vivos (REZENDE, 2003). Estas células são os neurônios, e o agrupamento delas é chamado de rede neural. A Figura 6. Corpo de um neurônio. representa o corpo de um neurônio, que são células são formadas pela membrana celular, citoplasma, núcleo, além dos dendritos e os axônios (HAYKIN, 2017). Os dendritos são responsáveis por receber os sinais elétricos vindos de outros neurônios, já os axônios são responsáveis por propagar os sinais elétricos. A região onde

¹ Relatório do AI Index: Iniciativa criada pela universidade de Stanford, que reúne informações para localizar, coletar, filtrar e visualizar sobre inteligência artificial.

ocorre a junção entre dendritos e axônios é denominada sinapse. Através do processo de sinapse os neurônios propagam sinais elétricos, que são gerados através de reações químicas. Dessa forma, “após vivenciar alguma experiência nova, o cérebro altera as conexões, o que indica o aprendizado e, quando a mesma experiência é repetida várias vezes, as ligações são então reforçadas” (ARTERO, 2008).

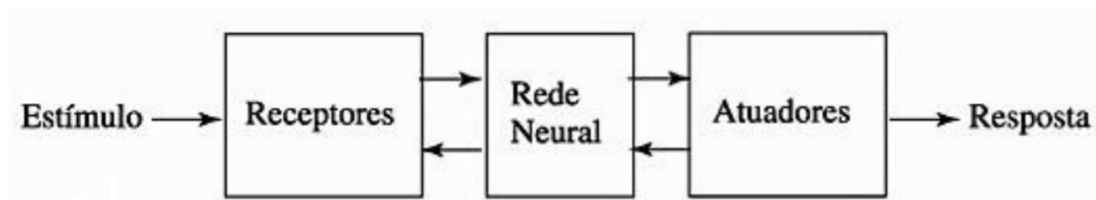
Figura 6. Corpo de um neurônio.



Fonte: (BENT, 1998)

O diagrama apresentado na Figura 7 representa um modelo simplificado do sistema nervoso humano. Os elementos que compõem o modelo são os receptores, as redes neurais e os atuadores. O elemento central do modelo denominado rede neural representa o cérebro, sua função é receber os estímulos externos processar e tomar decisões. As setas representam a troca de informação entre os elementos do modelo. O receptor é o elemento responsável por receber os estímulos externos e transmitir ao cérebro, bem como receber as respostas do cérebro. Já os atuadores recebem e enviam informações para o cérebro que são utilizadas para interagir com o meio ambiente (HAYKIN, 2017).

Figura 7. Modelo simplificado do sistema nervoso.



Fonte: (HAYKIN, 2017).

No cérebro os neurônios são conectados através de estruturas físicas, como axônio, dendritos e terminais sinápticos. Através de um processo denominado sinapse os

neurônios são capazes de transmitir informações. O processo mais comum de sinapse é a sinapse química que pode ser dividida em duas etapas: pré-sináptica e pós-sináptica.

2.3.2. *Redes Neurais Artificiais*

Redes neurais artificiais (ANN, do inglês *Artificial Neural Networks*) são sistemas computacionais que utilizam estruturas análogas às redes neurais biológicas para processar e armazenar informações. O estudo de redes neurais artificiais, ou redes artificiais, se deve ao fato de que o computador processa informações de forma extremamente diferente de um cérebro biológico (COPPIN, 2004). O cérebro é capaz de executar uma série de operações de extrema complexidade com altíssimas velocidades, operações estas que um computador levaria uma quantidade muito maior de tempo para processar.

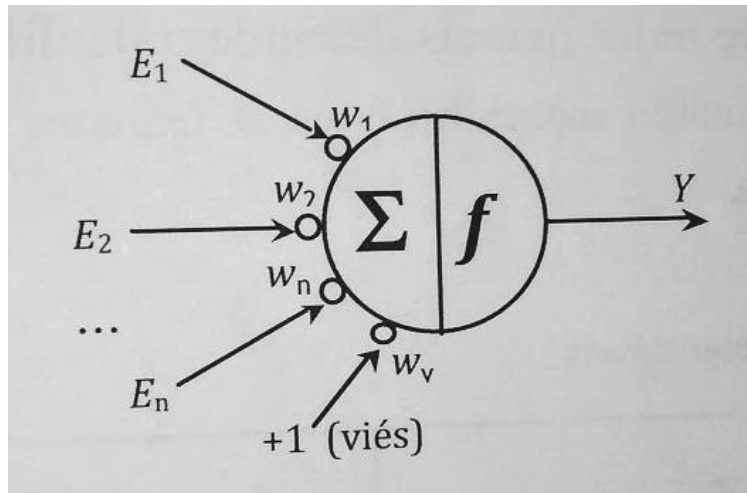
De acordo com Haykin (2017, p. 27)

Uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-los disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

- O conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem.
- Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido

Em 1943, McCulloch e Pitts propuseram um modelo matemático capaz de simular o funcionamento de células neurais. O modelo proposto é representado através da Figura 8. Modelo matemático de um neurônio.. O modelo do neurônio artificial é formado por duas partes, a primeira é responsável por somar os produtos das entradas, e a segunda é responsável pelo processamento da função de ativação ou transferência, que calcula o valor da saída do neurônio (ARTERO, 2008).

Figura 8. Modelo matemático de um neurônio.



Fonte: (ARTERO, 2008)

Até os anos 60 havia uma grande expectativa por parte da comunidade científica de que as redes neurais artificiais seriam capazes de imitar com perfeição o funcionamento do cérebro (ARTERO, 2008). Porém Minsk Papert demonstraria, em 1969, que tais expectativas estavam infundadas, através de indicações de várias limitações relacionadas à utilização de ANN. Segundo Artero (2008), o interesse com relação às redes neurais vem crescendo cada vez mais, devido à sua utilização na resolução de vários problemas práticos, em especial para a identificação de padrões tais como reconhecimento de voz, imagens (faces, impressões digitais) e objetos em geral.

2.3.3. *Aprendizado de Máquina*

Graças ao cérebro, os animais são capazes de aprender. Assim que o indivíduo nasce, sua estrutura cerebral é continuamente desenvolvida de acordo com as experiências às quais ele é exposto no meio em que vive. Nos seres humanos, grande parte desse processo acontece durante os dois primeiros anos de vida (HAYKIN, 2017). A plasticidade cerebral é a capacidade do cérebro de se adaptar ao seu meio ambiente (HAYKIN, 2017). Esta característica é essencial tanto para um neurônio biológico, quanto para os neurônios artificiais, que compõem as redes neurais artificiais. De maneira geral, pode se dizer que redes neurais artificiais são programas que simulam o modelo de funcionamento do cérebro com o objetivo de realizar uma determinada função ou tarefa (HAYKIN, 2017).

Se nos animais o processo de aprendizado ocorre naturalmente, em redes neurais artificiais este processo ocorre através de Algoritmos de aprendizado, que simulam o processo de aprendizagem do cérebro. Neste processo, os pesos sinápticos (força da

conexão entre neurônios) são modificados de forma a ‘ensinar’ à rede um determinado objetivo previamente estabelecido como, por exemplo reconhecer imagens de objetos, identificar fraudes financeiras, recomendar filmes com base nas preferências do usuário, etc.(COPPIN, 2004).

A aplicação de redes neurais para solução de problemas computacionais complexos vem se tornando cada vez mais comum. Esse tipo de recurso tem um imenso potencial para solução de problemas genéricos ou com grande número de variáveis, pois apresenta uma estrutura extremamente distribuída (promovendo o paralelismo) e uma alta capacidade de aprendizagem, ou seja, generalização de uma mesma solução para diferentes contextos (HAYKIN, 2017).

2.3.4. Algoritmo de Aprendizado Supervisionado

A estratégia de treinamento supervisionado consiste na utilização de uma matriz formada por dados de entradas e suas respectivas saídas, que são utilizadas no treinamento da rede neural (COPPIN, 2004). Durante o treinamento da ANN a diferença entre os valores rótulos da matriz de treinamento e o resultado da rede neural são utilizados para ajustar os pesos dos neurônios da rede.

Segundo Artero (2008),

A maior parte das redes neurais usa esta modalidade que, durante o treinamento, deverá compreender o padrão embutido nos dados e, posteriormente, deverá ser capaz de generalizar o que aprendeu, estendendo os conceitos para registros que não foram usados no treinamento.

Portanto, a capacidade das redes para generalizar uma solução ou padrão que foi “aprendido” é muito importante. Pois, quanto maior a capacidade de generalização, maior será a acurácia da rede neural.

3. METODOLOGIA

O *software* desenvolvido utilizou de redes neurais com o propósito de classificar partituras de piano por níveis de dificuldade.

No desenvolvimento da AI proposta neste trabalho foram utilizados dados da base de dados Piano *Syllabus*, dados tais como o nome da partitura e o nível da mesma, para treinamento e teste do *software*. A técnica que utilizada para desenvolvimento da inteligência artificial foi a de redes neurais. Para o treinamento, validação e teste da rede os exemplos disponíveis foram divididos em três grupos. O primeiro, e maior, dos grupos consistiu em exemplos rotulados utilizados para treinamento da rede neural. O segundo grupo foi utilizado para validação da ANN. Já o terceiro grupo foi utilizado para aferição do nível de acerto das previsões da rede e o mesmo foi produzido como produto da rede.

A base de dados Piano *Syllabus* contém informações sobre diversas composições, informações tais como o nome da partitura, o nome do compositor, o nível de dificuldade da partitura, o identificador único da partitura (id), o qual deriva dos números de *Opus* do latim obra. Um índice específico é utilizado para diversos compositores, como por exemplo, Mozart onde o número *Kochel* 'K' é utilizado no lugar dos números de *Opus*. Os campos restantes são o nível de consenso da partitura, que especifica o nível de dificuldade de uma partitura. Esse nível de consenso serve para fazer uma simplificação dos níveis de dificuldades atribuídos por diferentes escolas e, realiza uma média aritmética com as notas, limitando a sua classificação para uma escala de 0 a 10.

A tabela abaixo apresenta alguns exemplos de dados obtidos através da base de dados *Piano Syllabus*.

Figura 9. Tabela de dados obtidos no *Piano Syllabus*.

Composições por Autor				
compositor	titulo	id_syllabus	nivel	consenso_syllabus
Absil J.	Petit berger No 8 from Du rythme a l'expression Book 2 Op 108	108.08	3	3
Absil J.	Humoresque Op 126 No.3	126.03	7	7
Absil J.	Humoresque Op 126 No.3	126.03	7	7
Adair Y.	The Bronze Bear from Sketches from Hans Christian Andersen		0	0
Adair Y.	The elfin hill		0	0
Adair Y.	The little mermaid		0	0
Adair Y.	Thumbelina		0	0
Adair Y.	The Bronze Bear from Sketches from Hans Christian Andersen		1	0

Fonte: Os autores

A base de dados contém partituras de diferentes compositores, de diferentes períodos históricos tal como as classificações dadas por cada uma dessas escolas para determinada partitura. Essas informações são utilizadas pelas escolas com o intuito de classificar a dificuldade das composições e realizar testes de todos os níveis para alunos inscritos. Nas escolas, essa base de dados serve como um catálogo de músicas já tocadas e classificadas. Baseando-se em diversas fontes de sistema de classificação de dificuldade para exame musicais tais como: ABRSM (*Associated Board of the Royal Schools of Music*), AGME (*Australian Guild of Music Education*), AMEB (*Australian Music Education Board*), dentre outros (SYLLABUS, 2020), a base *Piano Syllabus* cria uma espécie de compilado de “*Pianos Syllabus*” a fim de criar uma fonte de consulta unificada para alunos e professores interessados.

Para o desenvolvimento da rede neural, serão utilizados rótulos obtidos na base *Piano Syllabus* como o nome da partitura e o nível consenso de dificuldade para treinamento da rede.

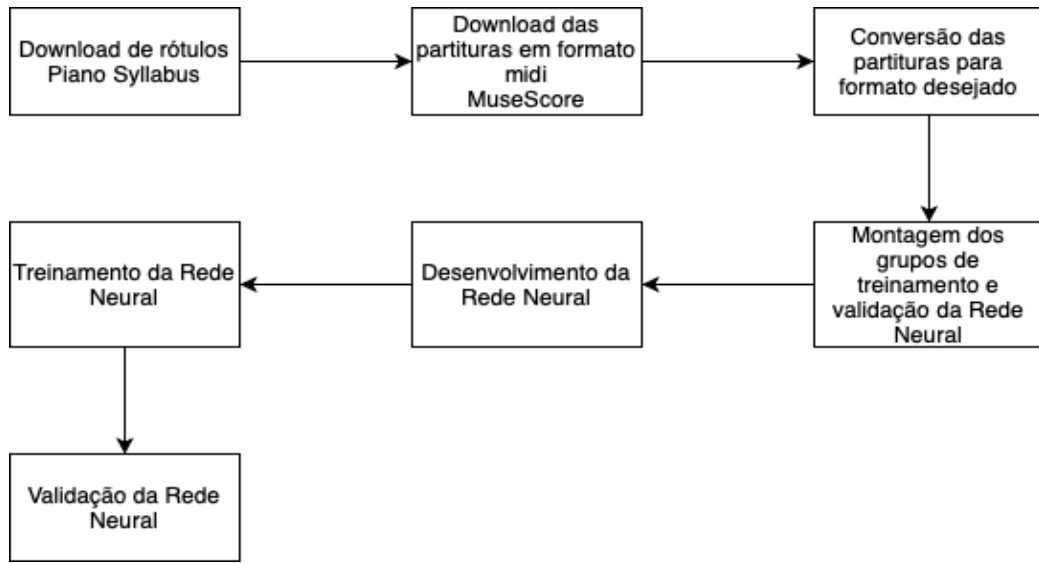
Também será necessário a utilização de um arquivo midi juntamente com os rótulos, o qual define todas as informações necessárias para descrever e reproduzir a partitura, quer seja em um software apropriado ou por meio de utilização dos dados na rede neural, dados tais como, a altura das notas tocadas, o intervalo entre as notas, a força das notas tocadas, o tipo de instrumento utilizado, dentre outros.

Após obtenção dos dados para desenvolvimento da rede, treinamento e validação da mesma, a rede será capaz de receber uma partitura em formato de texto e classificá-la em uma escala de 0 a 10 de acordo com os níveis de dificuldade já treinados.

Após a obtenção de rótulos de nível de dificuldade obtidos no *Piano Syllabus* e de acervo de partituras em formato midi, obtidas no MuseScore, o desenvolvimento, treinamento e validação da rede será realizado com objetivo de gerar uma rede capaz de classificar partituras em formato de texto em uma escala de 0 a 10 que represente o nível de dificuldade da partitura analisada.

O diagrama apresentado na Figura 10 representa as etapas para obtenção dos dados e desenvolvimento da rede.

Figura 10. Passos para desenvolvimento da AI



Fonte: Os autores

4. RESULTADOS

4.1. Resultados alcançados

Na primeira etapa do trabalho, foram levantados aspectos teóricos relacionados ao tema, conceitos relacionados à teoria musical e conceitos relacionados à teoria de inteligência artificial, os quais estão descritos na seção de fundamentação teórica.

Nesta primeira etapa, também foram criadas as produções necessárias para se obter os dados de treinamento da I.A. Foram obtidos por meio de algoritmo, todos os compositores existentes na base *Piano Syllabus* e, a partir dos mesmos, foi criada a base de dados com todas as informações necessárias para o treinamento da I.A, informações tais como o nível de dificuldade da partitura (o qual estabelece o nível de uma partitura baseado em todos os *Piano Syllabus* indexados pela própria base de dados e, através dos mesmos, cria uma média do nível de dificuldade de determinada partitura) e o seu respectivo nome. Esses dados serão utilizados na próxima etapa juntamente com os arquivos MIDI de cada uma das partituras recuperadas e, utilizando de uma porcentagem dos registros da base de dados completa, utilizadas para treinar e, posteriormente, prever os níveis de dificuldade das partituras da própria base de dados.

Para fins de obtenção da base, foram utilizados scripts escritos na linguagem PHP para obtenção dos dados a partir dos compositores.

No script, foram utilizados dos nomes dos compositores e o nível de dificuldade das partituras para recuperar os registros disponíveis na base de dados e, a partir dos resultados, os registros foram salvos em um banco de dados local. A partir desse script, foram reunidos os dados necessários para poder prosseguir para a segunda etapa: recuperar os arquivos midi que serão processados pela AI para o reconhecimento de padrões.

O meio escolhido para recuperação dos arquivos, foi a API do site de partituras MuseScore², o qual disponibiliza arquivos midi para as partituras publicadas no site.

Para realizar a classificação dos arquivos midi, foi utilizado um modelo de rede neural desenvolvido através da ferramenta Tensorflow.

As seguintes etapas foram realizadas:

1. Examinar e compreender os dados (partituras em formato midi) para entrada na rede;

² <https://musescore.org/>

2. Converter os dados de entrada para um formato compreensível a rede neural;
3. Desenvolvimento do modelo da rede neural;
4. Treinamento da rede neural;
5. Teste do modelo.

4.1.1. Examinando e compreendendo o grupo de dados

O grupo de dados examinado é composto por 704 arquivos em formato midi agrupados por categoria (as categorias são valores de 0 e 10, que representam o nível de dificuldade da partitura).

Quadro 2. Quantidade de exemplos por classe

Classe	Quantidade de exemplos	Porcentagem
0	9	1%
1	29	4%
2	49	7%
3	62	9%
4	80	11%
5	78	11%
6	76	10%
7	94	13%
8	111	16%
9	82	12%
10	34	5%
Total	704	100%

Fonte: Os autores

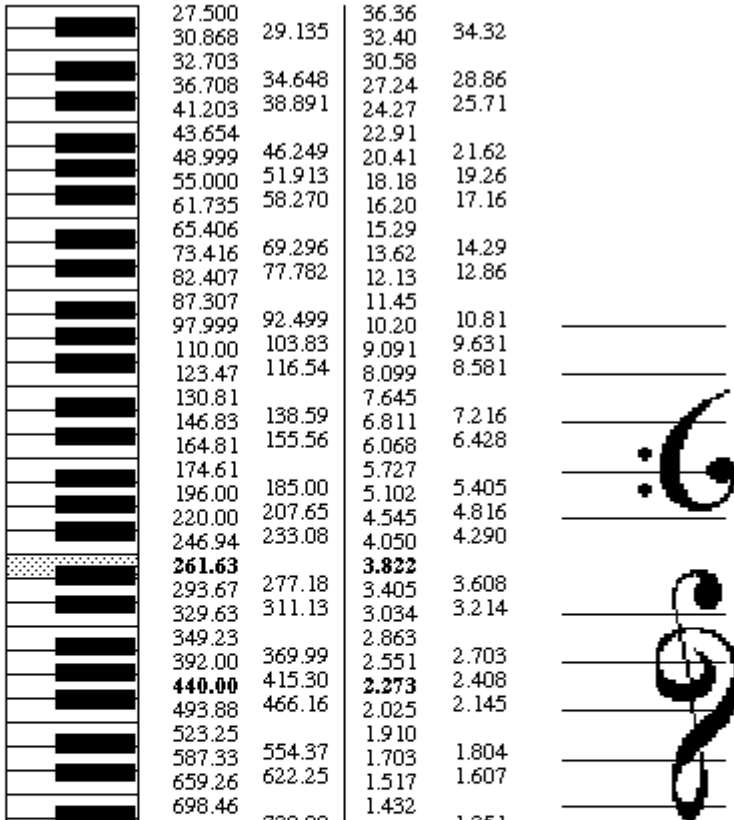
4.1.2. Preparando o conjunto de dados

Para realizar a entrada do grupo de dados no modelo, foi necessário converter os arquivos em formato MIDI(arquivos binários) das partituras para uma matriz numérica, que representassem as teclas que são pressionadas no teclado e a força com que foram pressionadas.

A matriz de representação é composta por duas dimensões, representada por 148 linhas e 2400 colunas. As linhas da matriz tem tamanho 128, porque o protocolo midi mapeia as notas utilizando valores entre 0-127.

Figura 11. Nome das notas, números MIDI e frequências

MIDI number	Note name	Keyboard	Frequency Hz		Period ms	
21	22	A0	27.500		36.36	
23		B0	30.868	29.135	32.40	34.32
24	25	C1	32.703		30.58	
26		D1	36.708	34.648	27.24	28.86
28	27	E1	41.203	38.891	24.27	25.71
29		F1	43.654		22.91	
31	30	G1	48.999	46.249	20.41	21.62
33		A1	55.000	51.913	18.18	19.26
35	34	B1	61.735	58.270	16.20	17.16
36		C2	65.406		15.29	
38	37	D2	73.416	69.296	13.62	14.29
40		E2	82.407	77.782	12.13	12.86
41	42	F2	87.307		11.45	
43		G2	97.999	92.499	10.20	10.81
45	44	A2	110.00	103.83	9.091	9.631
47		B2	123.47	116.54	8.099	8.581
48	49	C3	130.81		7.645	
50		D3	146.83	138.59	6.811	7.216
52	51	E3	164.81	155.56	6.068	6.428
53		F3	174.61		5.727	
55	54	G3	196.00	185.00	5.102	5.405
57		A3	220.00	207.65	4.545	4.816
59	58	B3	246.94	233.08	4.050	4.290
60	61	C4	261.63		3.822	
62		D4	293.67	277.18	3.405	3.608
64	63	E4	329.63	311.13	3.034	3.214
65		F4	349.23		2.863	
67	66	G4	392.00	369.99	2.551	2.703
69		A4	440.00	415.30	2.273	2.408
71	70	B4	493.88	466.16	2.025	2.145
72		C5	523.25		1.910	
74	73	D5	587.33	554.37	1.703	1.804
76		E5	659.26	622.25	1.517	1.607
77	78	F5	698.46		1.432	
79		G5	783.99	739.99	1.276	1.351
81	80	A5	880.00	830.61	1.136	1.204
83		B5	987.77	932.33	1.012	1.073
84	85	C6	1046.5		0.9556	
86		D6	1174.7	1108.7	0.8513	0.9020
88	87	E6	1318.5	1244.5	0.7584	0.8034
89		F6	1396.9		0.7159	
91	90	G6	1568.0	1480.0	0.6378	0.6757
93		A6	1760.0	1661.2	0.5682	0.6020
95	94	B6	1975.5	1864.7	0.5062	0.5363
96		C7	2093.0		0.4778	
98	97	D7	2349.3	2217.5	0.4257	0.4510
100		E7	2637.0	2489.0	0.3792	0.4018
101	102	F7	2793.0		0.3580	
103		G7	3136.0	2960.0	0.3189	0.3378
105	104	A7	3520.0	3322.4	0.2841	0.3010
107		B7	3951.1	3729.3	0.2531	0.2681
108		C8	4186.0		0.2389	



Fonte: (WOLFE, 2020)

A figura acima demonstra na coluna 1 o valor inteiro utilizado para representar cada nota para um piano de 8 oitavas.

Basicamente, durante a gravação de um arquivo midi sempre que o usuário pressiona uma tecla no piano é adicionado uma linha composta por 5 valores ao arquivo: a linha do tipo da mensagem, a do canal de reprodução (valor entre 0 e 16 que representa o canal de reprodução da mensagem), a da nota (o valor gravado depende da tecla que foi pressionada, por exemplo se a tecla fosse F4 o valor de note seria 65), a velocidade (se refere a força com que a tecla foi pressionada variando entre 0 e 127), time(tempo entre a última mensagem e a mensagem atual).

Quadro 3. Exemplo de mensagem midi

Mensagem midi	
MSG1	note_on channel=0 note=60 velocity=49 time=0
MSG2	note_on channel=0 note=60 velocity=0 time=119

Fonte: Os autores

A tabela acima contém duas mensagens midi que descrevem que o usuário pressionou a tecla C4(representado pelo valor 60) com força 49 e após 119 unidades de tempo deixou de pressionar a tecla (velocidade 0, significa que a tecla não está pressionada).

Portanto, para geração da matriz foi necessário ler todas as mensagens do arquivo midi para obter a nota, tempo e velocidade de mensagem. O valor de nota foi utilizado para determinar a linha, a linha para determinar a coluna e velocidade o valor que deveria ser gravado.

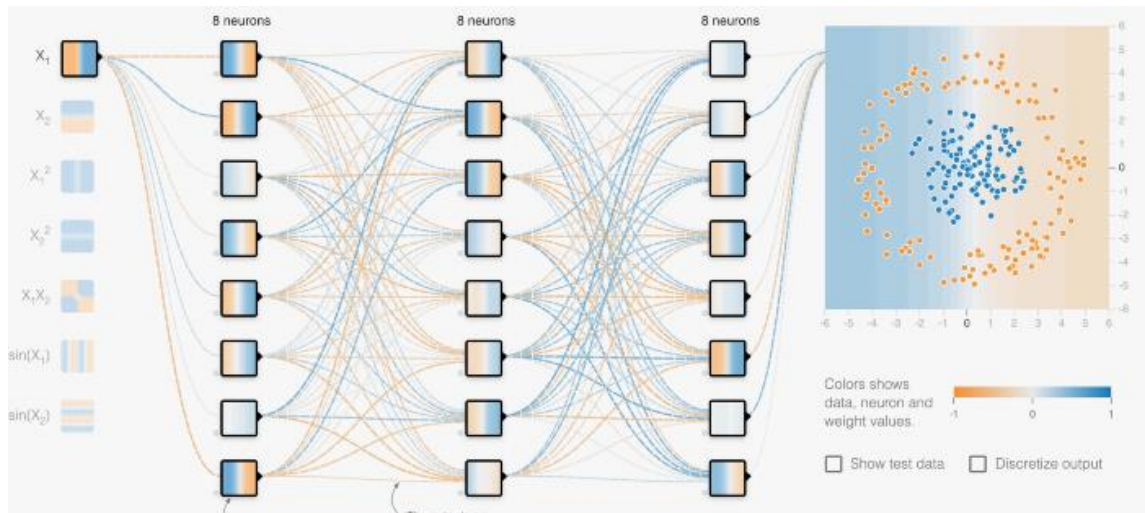
4.1.3. Desenvolvimento do modelo da Rede Neural

Para desenvolvimento da rede necessário escolher as camadas que formaram-na com objetivo de aprender o padrão do grupo de dados.

O modelo recebido da partitura foi em formato de matriz e teve como saída a categoria. Ele é formado por três camadas: a primeira de formatação de dados que reduz as dimensões da matriz de entrada com o objetivo de facilitar a entrada de dados nas camadas posteriores; a segunda camada é densa com 128 neurônios a qual realiza a maior

parte do trabalho de classificação. Os neurônios da camada densa são conectados com todos os neurônios das camadas adjacentes.

Figura 12. Representação de uma rede neural densa



Fonte: (HAYKIN, 2017).

A última camada, é responsável por informar a classificação obtida pela rede neural. Esta contém 10 nódulos ou neurônios conectados densamente com a segunda camada.

Para finalizar a configuração do modelo é necessário definir a função de perda, o índice de aprendizagem e método de avaliação da rede neural. A função de perda (loss function), é utilizada para medir o quão distantes os resultados da rede estão da resposta correta. Para o nosso modelo utilizamos o método Adam (Adaptative Moment Estimation) como função de perda.

4.1.4. Treinamento da Rede Neural

Para treinamento da rede neural o grupo de dados foi dividido entre dados de treinamento e dados de teste. Com o percentual de 70% para o primeiro e 30% para o último.

Como resultado do treinamento por 50 épocas (epoch) foi obtida uma acurácia de 33.13%, e validação de rede foi obtido uma acurácia de 30.18%.

4.1.5. *Avaliando os resultados obtidos*

Devido a baixo nível de acurácia da rede neural, aproximadamente 30% tanto para teste quanto para validação, foi concluído que a rede desenvolvida não é capaz de resolver o problema proposto.

A provável causa da acurácia insatisfatória do modelo é o tamanho do grupo de dados, que não continha exemplos suficientes para treinamento da rede.

4.2. **Trabalhos futuros**

Dentre as sugestões de trabalhos futuros no tema podemos listar: desenvolvimento da AI que recebem como dados de entrada uma partitura em formato de texto e entrega como resultado de saída um valor entre 0 e 10, o qual representa o nível de dificuldade da partitura informada.

REFERÊNCIAS

- ARTERO, Almir. **Inteligência Artificial Teórica e Prática**. [S.l: s.n.], 2008
- BENT, I. Musical Notation. **Encyclopaedia Britannica**. 1998. Disponível em: <<https://www.britannica.com/art/musical-notation>>. Acesso em 3 nov. 2019
- CHANG, Chuan C. **Fundamentals of Piano Practice**. [S.l: s.n.], 2004.
- COPPIN, Ben. **Artificial Intelligence Illuminated**. [S.l: s.n.], 2004.
- HAYKIN, Simon. **Redes neurais: princípios e prática**. Bookman, 2017.
- HOSCH, W. MIDI. **Encyclopaedia Britannica**. 2009. Disponível em: <<https://www.britannica.com/art/MIDI-music-technology>>. Acesso em 22 nov. 2020
- NODA, K. Sheet Music. **New World Encyclopedia**. 2008. Disponível em: <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Sheet_music>. Acesso em 20 out. 2019
- PARNCUTT, Richard e TROUP, Malcolm. Piano. The Science & Psychology of Music Performance: Creative Strategies for Teaching and Learning. [S.l: s.n.], 2011.
- SYLLABUS, P. **Piano Syllabus**. Disponível em: <<http://pianosyllabus.com/x-help.php>>. Acesso em 14 dez. 2021
- REZENDE, Solange Oliveira. **Sistemas Inteligentes Fundamentos e Aplicações**. Sistemas Fuzzy, p. 169=201, 2003.
- SHOHAM, Yoav e colab. **Steering Committee**. . [S.l: s.n.], 2018.
- VANDENNEUCKER, D. Midi Tutorial for Programmers. 2012. Disponível em: <<https://www.cs.cmu.edu/~music/cmsip/readings/MIDI%20tutorial%20for%20programmers.html>>. Acesso em 22 nov. 2020
- WOLFE, J. Note names, MIDI numbers and frequencies, 2020. Disponível em: <<https://newt.phys.unsw.edu.au/jw/notes.html>>. Acesso em 19 dez. 2020