

BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO  
RELATÓRIO DO TRABALHO PRÁTICO II

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL  
PROF. DR. ALMIR OLIVETTE ARTERO

EYMAR FERRARIO DE LIMA  
MATHEUS PRACHEDES BATISTA

PRESIDENTE PRUDENTE

2017

## 1 – Execução do Software

### 1.1 – Carregando os Testes

Para iniciar a execução do Software, primeiramente é necessário carregar os arquivos que contém o conjunto de Treinamento e o conjunto de Testes onde ambas as opções se encontram na janela principal do programa no menu “Conjuntos” (o programa apenas reconhece e carrega arquivos com extensão .csv). Após carregar ambos os arquivos, para agilizar a convergência e deixar todos os atributos na mesma escala [0,1], é importante normalizar os dois conjuntos carregados e, para realizar esta ação, basta selecionar a opção normalizar Conjuntos que se encontra também no menu “conjuntos” (não é possível normalizar os conjuntos até que ambos estejam carregados). A Figura 1 ilustra o menu que contém as opções citadas anteriormente.

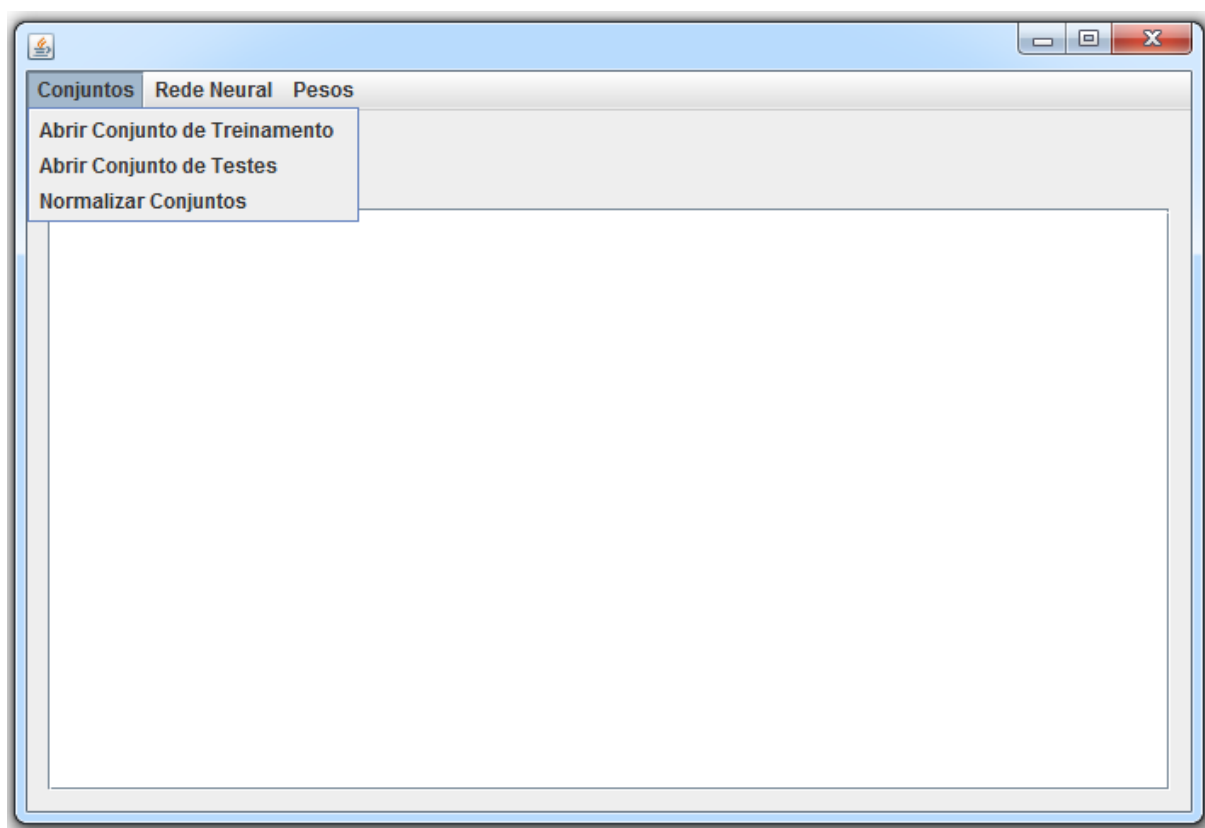


Figura 1 - Menu de Conjuntos.

### 1.2 – Criação da Rede Neural

Após carregar os conjuntos e normaliza-los é necessário criar a Rede Neural e, para realizar esta ação basta acessar o menu “Rede Neural” e escolher a opção “Criar Rede Neural”. A Figura 2 ilustra o menu “Rede Neural”.

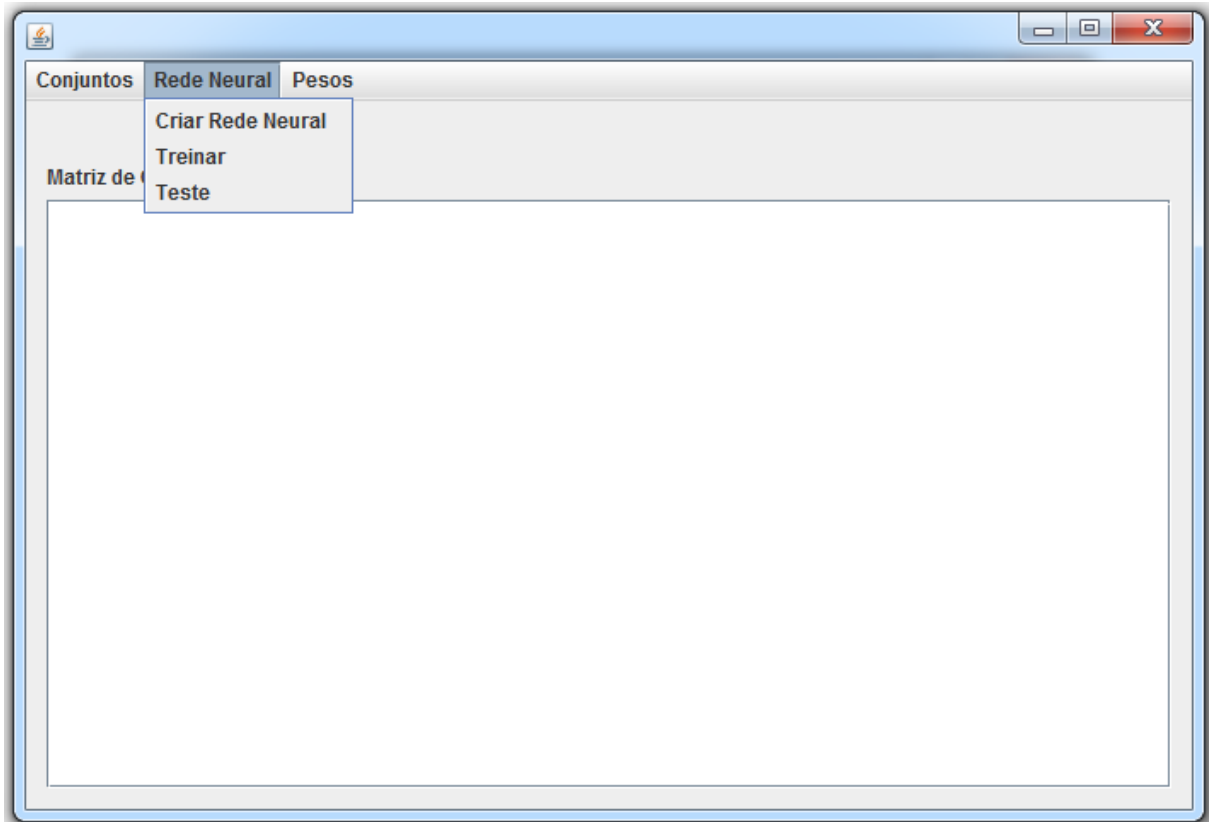
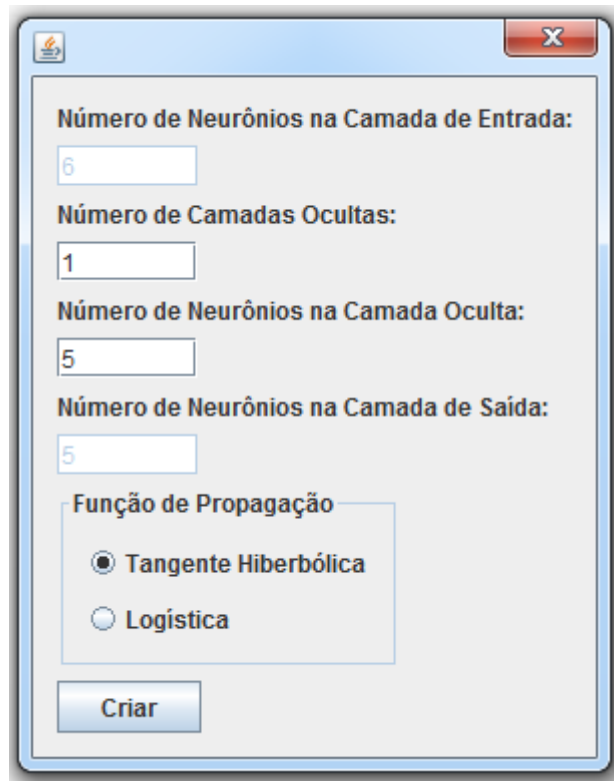


Figura 2 - Menu de Rede Neural

Ao selecionar a Opção de “Criar Rede Neural”, uma nova janela irá se abrir onde o usuário poderá selecionar a quantidade de camadas ocultas, o número de neurônios em cada camada oculta e a função de propagação (podendo ser Tangente Hiperbólica ou Logística). A quantidade de neurônios na camada de entrada e de saída é configurada automaticamente de acordo com os conjuntos de entrada. Após configurar a Rede Neural Basta clicar no botão “Criar”. A Figura 3 ilustra a interface de criação de redes neurais.



A interface de criação de uma rede neural é apresentada em uma janela com uma barra de título azul e botões de controle padrão (minimizar, maximizar, fechar). O conteúdo principal é um formulário com os seguintes campos e opções:

- Número de Neurônios na Camada de Entrada:** Campo de texto com o valor "6".
- Número de Camadas Ocultas:** Campo de texto com o valor "1".
- Número de Neurônios na Camada Oculta:** Campo de texto com o valor "5".
- Número de Neurônios na Camada de Saída:** Campo de texto com o valor "5".
- Função de Propagação:** Grupo de botões de opção.
  - ☒ Tangente Hiperbólica
  - ☐ Logística
- Criar:** Botão de ação para finalizar a criação.

Figura 3 - Interface de Criação de uma Rede Neural

### 1.3 – Ajuste de Pesos

O software gera os pesos aleatoriamente, porém, caso o usuário julgue necessário, ele pode alterar todos os pesos individualmente selecionando a opção “Ajustas Pesos” no menu “Pesos” ilustrados pela Figura 4.

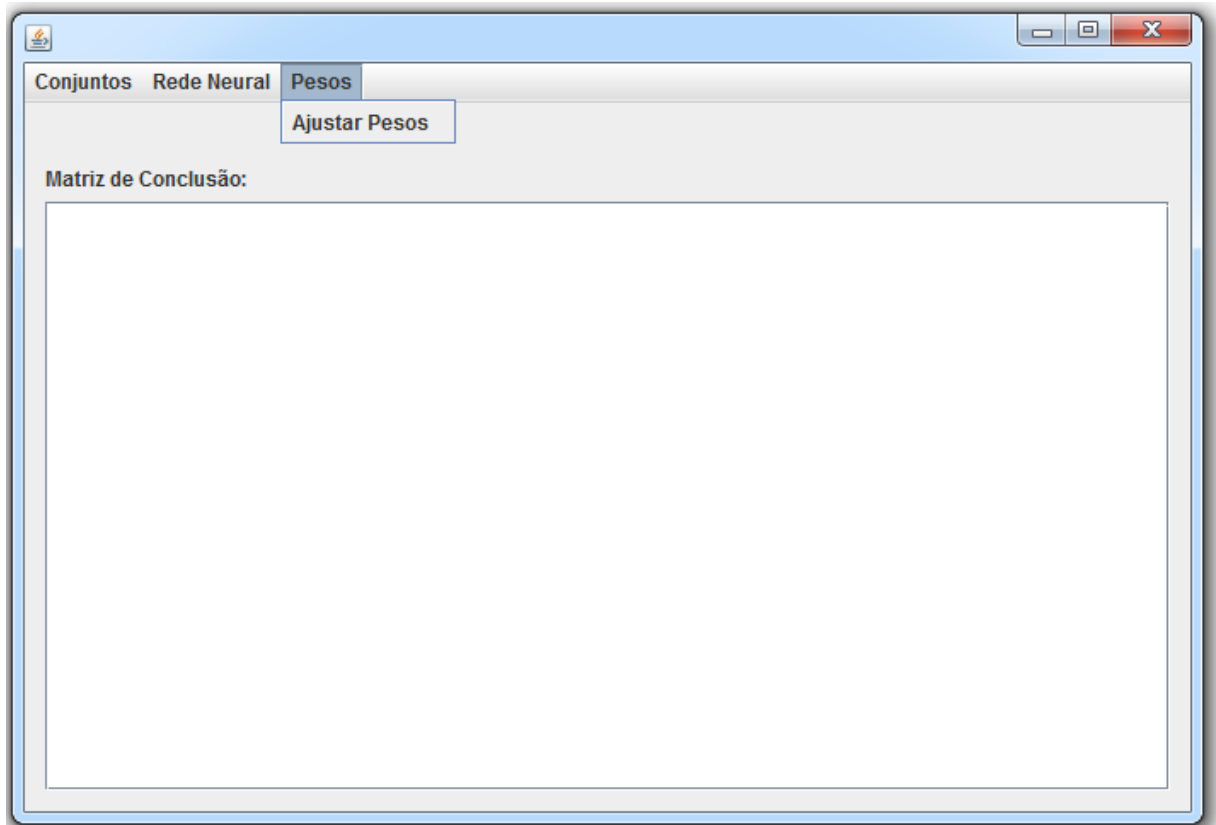
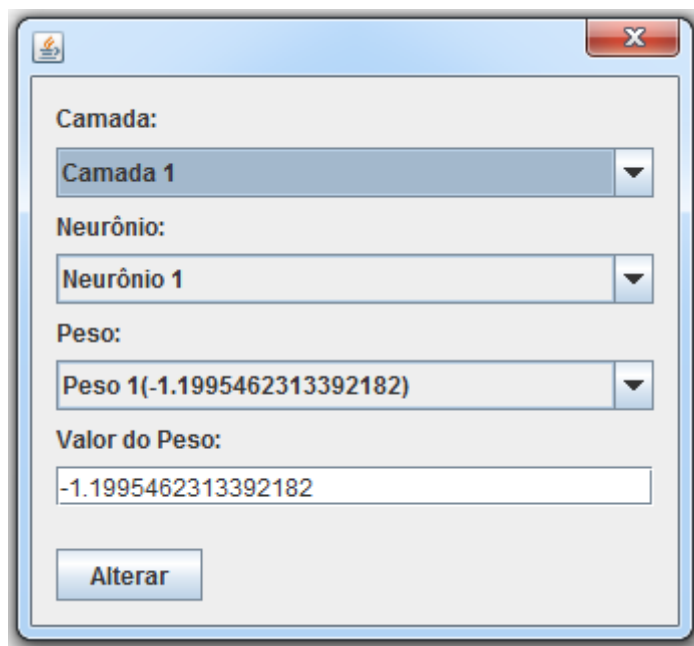


Figura 4 - Menu de Pesos

Após selecionar a opção de ajustar pesos, uma nova janela será aberta aonde o usuário poderá escolher a camada, o neurônio e qual dos pesos ele deseja alterar, após selecionar essas 3 opções, bastar inserir o novo peso no campo “Valor do Peso” e finalizar clicando no botão “Alterar”. A Figura 5 ilustra a interface de alteração de pesos.



A interface de alteração de pesos é uma janela com um ícone de fogo no canto superior esquerdo e um botão de fechar (X) no canto superior direito. Ela contém quatro campos de seleção e um campo de texto:

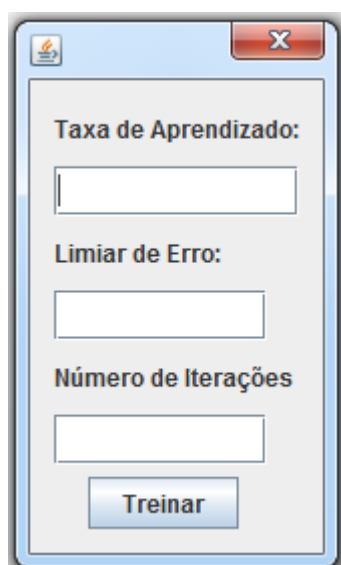
- Camada:** Um menu suspenso com a opção "Camada 1" selecionada.
- Neurônio:** Um menu suspenso com a opção "Neurônio 1" selecionada.
- Peso:** Um menu suspenso com a opção "Peso 1(-1.1995462313392182)" selecionada.
- Valor do Peso:** Um campo de texto contendo o valor "-1.1995462313392182".

Na base da janela, há um botão "Alterar".

Figura 5 - Interface de Alteração de Pesos

#### 1.4 – Treinamento da Cadeia

Para treinar a cadeia é necessário selecionar a opção “Treinar” que se encontra no menu “Rede Neural” (ambos ilustrados pela Figura 2) e, após selecionar esta opção, uma nova janela irá abrir para que o usuário selecione a taxa de aprendizado, o limiar de erro e o número de iterações (caso seja necessário usar números reais, o programa apenas aceita a fração dividida por “.” e não por “,”). Após entrar com os dados necessários basta clicar no botão “Treinar”. A Figura 6 ilustra a interface de treinamento.



A interface de treinamento da cadeia é uma janela com um ícone de fogo no canto superior esquerdo e um botão de fechar (X) no canto superior direito. Ela contém três campos de entrada e um botão:

- Taxa de Aprendizado:** Um campo de entrada vazio.
- Limiar de Erro:** Um campo de entrada vazio.
- Número de Iterações:** Um campo de entrada vazio.

Na base da janela, há um botão "Treinar".

Figura 6 - Interface de Treinamento da Cadeia

### 1.5 – Teste da Cadeia

Para testar a cadeia, apenas é necessário selecionar a opção “Testar” que se encontra no menu “Rede Neural” (ambos ilustrados pela Figura 2) e, após selecionar a opção, o resultado ilustrado através da Matriz de Confusão será carregado na interface principal do programa. A Figura 7 ilustra como a matriz de confusão é exibida para o usuário.

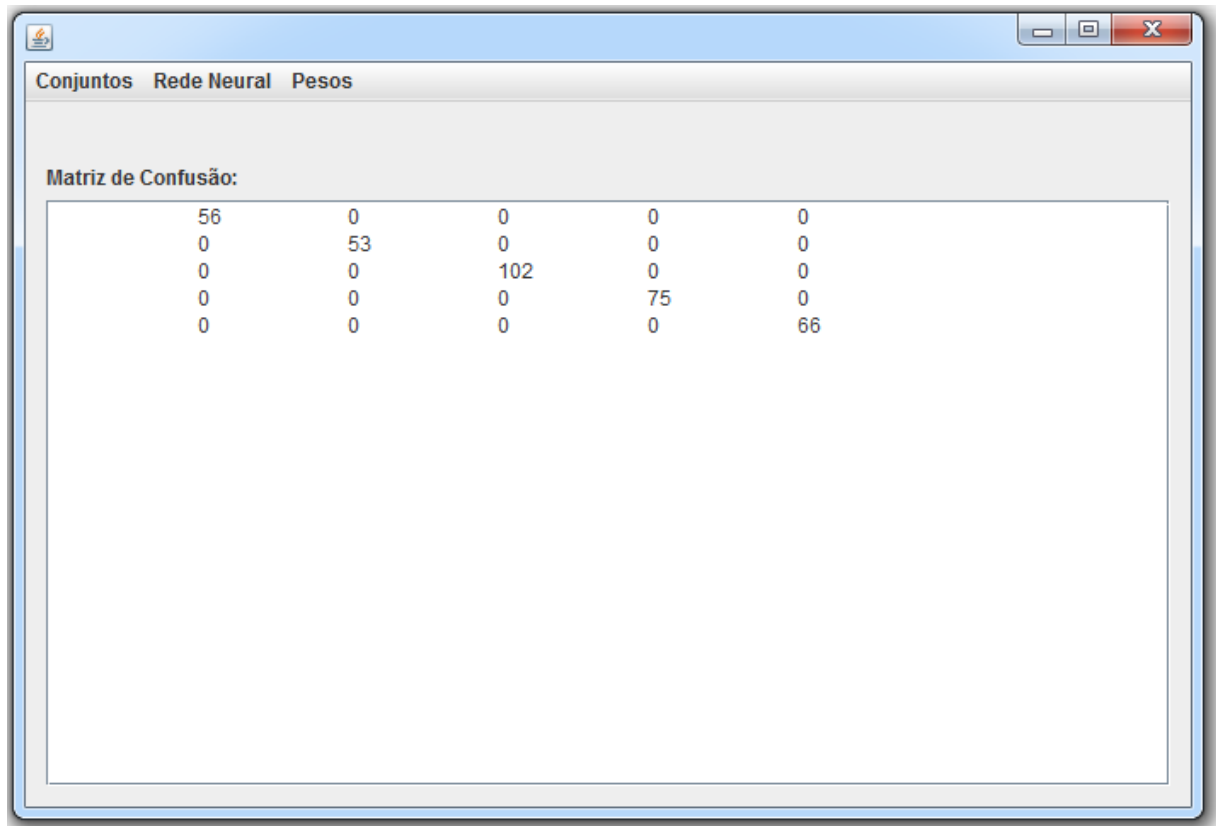


Figura 7 - Matriz de Confusão

## 2 – Resultado dos Testes

Ao utilizar o conjunto de testes e treinamento fornecidos em aula, normalizamos os dois conjuntos e criamos apenas 1 camada oculta com 5 neurônios (todos os pesos foram gerados aleatoriamente). Ao utilizar tanto a Função de Tangente Hiperbólica quanto a Função de Logística, utilizando os parâmetros para treinar:

- Taxa de Aprendizado: 0.1
- Limiar de Erro: 0.01
- Número de Iterações: 1000

Ambas as Funções obtiveram sucesso no treinamento, de tal forma que na hora de executar os testes, apresentaram a mesma matriz de confusão:

56	0	0	0	0
0	53	0	0	0
0	0	102	0	0
0	0	0	75	0
0	0	0	0	66

Ao realizar o mesmo conjunto de testes sem normalizar os conjuntos e, utilizando as funções de Tangente Hiperbólica e Função Logística, obtivemos respectivamente as seguintes matrizes:

56	53	102	75	66
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
56	0	102	0	66
0	53	0	75	0
0	0	0	0	0

Desta forma idealizamos que o problema seria relacionado a quantidade de camadas e neurônios, podendo não ser suficiente para aprender o treinamento ou talvez fosse necessário aumentar o número de iterações pois sem normalização a convergência é mais devagar.

Logo aumentamos gradativamente a quantidade de camadas ocultas e a quantidade de neurônios em cada uma delas, assim como o número de iterações, porém não obtivemos sucesso durante o treinamento da cadeia.



## 3 – Código Fonte

### 3.1 – Classe Abstrata de uma Função

```
/*Classe abstrata usada para representar uma função de propagação; */
public abstract class Função {
    /**Calcula f(x)*/
    public abstract double compute(double x);
    /**Calcula f'(x)*/
    public abstract double derivada(double x);
    /**Menor valor da imagem da função, usada para definir a saída das camadas**/
    public abstract double menorValorImagem();
    /**Maior valor da imagem da função, usada para definir a saída das camadas**/
    public abstract double maiorValorImagem();
}
```

### 3.2 – Função Logística

```
/* Função logística para a função de propagação*/
public class Logistica extends Função{
    /**Calcula f(x)*/
    @Override
    public double compute(double x) {
        return ((double)1)/(1+Math.exp(-x));
    }

    /**Calcula f'(x)*/
    @Override
    public double derivada(double x) {
        return compute(x)*(1-compute(x));
    }

    @Override
    /**Menor valor da imagem da função, usada para definir a saída das camadas**/
    public double menorValorImagem() {
        return 0;
    }

    @Override
    /**Maior valor da imagem da função, usada para definir a saída das camadas**/
    public double maiorValorImagem() {
        return 1;
    }
}
```

### 3.3 – Função Tangente Hiperbólica

```
public class TangenteHiperbolica extends Função {
    @Override
    public double compute(double x) {
        return (1 - Math.exp(-2 * x)) / (1 + Math.exp(-2 * x));
    }

    @Override
```

```

public double derivada(double x) {
    return 1 - Math.pow(compute(x), 2);
}

@Override
/*Menor valor da imagem da função, usada para definir a saída das camadas*/
public double menorValorImagem() {
    return -1;
}

@Override
/*Maior valor da imagem da função, usada para definir a saída das camadas*/
public double maiorValorImagem() {
    return 1;
}
}

```

### 3.4 – Instância de Dados

```

/*Representa uma instancia de dados com os atributos e o rotulo da classe*/
public class Instancia {
    public double[] atributos;
    public String classe;

    public Instancia(double[] atributos, String classe){
        this.atributos = atributos;
        this.classe = classe;
    }

    /**
     * Normaliza os atributos desta instancia de modo que os atributos do conjunto
     * estejam no intervalo [limiteMin, limiteMax]
     * @param min menor valor de cada atributo no conjunto
     * @param max maior valor de cada atributos no conjunto
     * @param limiteMin limiteMin da normalização
     * @param limiteMax limiteMax da normalização
     */
    protected void normalizar(double[] min, double[] max, double limiteMin, double
    limiteMax) {
        for(int i=0; i<atributos.length; i++){
            atributos[i] = ((atributos[i]-min[i])/(max[i]-min[i]))*(limiteMax-
            limiteMin)+limiteMin;
        }
    }
}

```

### 3.5 – Conjunto de Instâncias

```

/*Classe que representa um conjunto de instancias*/
public class Instancias {
    public static final int NORMALIZAR_ENTRE_0E1 = 1;
    public static final int NORMALIZAR_ENTRE_M1E1 = 2;
}

```

```

/*Instancias do conjunto*/
private ArrayList<Instancia> instancias = new ArrayList<>();

/**Saida esperada da rede para cada classe
 *Armazenada para evitar calcular a saida toda hora*/
private HashMap<String, Double[]> mapeamentoSaidas = new HashMap<>(10);

/*Classes do conjunto de instancias*/
private ArrayList<String> classes = new ArrayList<>();

private int numClasses = 0;
private int numAtributos = 0;

public Instancias(){ }

public Instancia getInstancia(int i) {
    return instancias.get(i);
}

public int size() {
    return instancias.size();
}

/*Retorna os atributos da instancia i*/
public double[] getAtributos(int i) {
    return instancias.get(i).atributos;
}

/*Embaralha o conjunto de instancias*/
public void embaralhar() {
    ArrayList<Instancia> novaInstancias = new ArrayList<>();
    Random r = new Random();
    while (instancias.size() > 0) {
        novaInstancias.add(instancias.remove(r.nextInt(instancias.size())));
    }
    instancias = novaInstancias;
}

/**Retorna a saida esperada da rede para a instancia i*/
public Double[] getSaida(int i) {
    return mapeamentoSaidas.get(instancias.get(i).classe);
}

/**Abre o arquivo especificado pelo parametro e carrega as instancias*/
public boolean abrirArquivo(File arquivo) {
    instancias.clear();
    BufferedReader reader = null;
    try {
        int i, cont = 0;

```

```

String classe;
reader = new BufferedReader(new FileReader(arquivo));
String linha;
String[] tokens;

tokens = reader.readLine().split(",");
numAtributos = tokens.length - 1;
while ((linha = reader.readLine()) != null) {
    double[] atributos = new double[numAtributos];
    tokens = linha.split(",");
    for (i = 0; i < numAtributos; i++) {
        atributos[i] = Double.valueOf(tokens[i]);
    }
    classe = tokens[i];
    instancias.add(new Instancia(atributos, classe));
    mapeamentoSaidas.putIfAbsent(classe, null);
}
numClasses = mapeamentoSaidas.size();
reader.close();
} catch (IOException ex) {
    instancias.clear();
    if (reader != null) {
        try {
            reader.close();
        } catch (IOException ex1) {
        }
    }
}
return instancias.isEmpty();
}

/**
 * Recupera o minimo e maximo de cada atributo do conjunto 'c' e retorna nos vetores
 * de entrada
 */
private static void recuperaMinMax(double[] min, double[] max, Instancias c){
    if(c==null)return;
    for(Instancia i : c.instancias){
        double[] atributos = i.atributos;
        for (int cont = 0; cont < atributos.length; cont++) {
            if (atributos[cont] < min[cont]) {
                min[cont] = atributos[cont];
            }
            if (atributos[cont] > max[cont]) {
                max[cont] = atributos[cont];
            }
        }
    }
}
}

```

```

/**
 * Normaliza cada instancia do conjunto 'c'
 * @param min menor valor de cada atributo do conjunto
 * @param max maior valor de cada atributo do conjunto
 * @param limiteMin menor valor do intervalo após normalização
 * @param limiteMax maior valor do intervalo após normalização
 * @param c conjunto que será normalizado
 */
private static void normaliza(double[] min, double[] max, double limiteMin, double
limiteMax, Instancias c){
    if(c == null)return;
    for(Instancia i : c.instancias){
        i.normalizar(min, max, limiteMin, limiteMax);
    }
}

/**
 * Normaliza este conjunto para que os atributos estejam entre [limiteMin,limiteMax]
 * @param c Conjunto que será normalizado junto com este.
 */
public void normalizar(double limiteMin, double limiteMax, Instancias c) {
    int numAtr = instancias.get(0).atributos.length;
    double min[] = new double[numAtr];
    double max[] = new double[numAtr];
    for (int i = 0; i < numAtr; i++) {
        min[i] = Double.MAX_VALUE;
        max[i] = -Double.MAX_VALUE;
    }
    recuperaMinMax(min, max, this);
    recuperaMinMax(min,max,c);
    normaliza(min,max,limiteMin,limiteMax,c);
    normaliza(min,max,limiteMin,limiteMax,this);
}

/**
 * Define as saidas esperadas pela rede para cada classe do conjunto.
 * @param funçãoPropagação A função é usada para definir o minimo e o maximo da
saida.
 */
public void definirSaidasClasses(Função funçãoPropagação) {
    Set<String> valorClasses = mapeamentoSaidas.keySet();
    int cont = 0;
    for (String i : valorClasses) {
        Double[] saidaClasses = new Double[mapeamentoSaidas.size()];
        for (int j = 0; j < mapeamentoSaidas.size(); j++) {
            saidaClasses[j] = funçãoPropagação.menorValorImagem();
        }
        saidaClasses[cont++] = funçãoPropagação.maiorValorImagem();
        mapeamentoSaidas.put(i, saidaClasses);
        classes.add(i);
    }
}

```

```

    }
}

public int getNumClasses() {
    return numClasses;
}

public int getIndexClasse(int i) {
    return classes.indexOf(instancias.get(i).classe);
}
}

```

### 3.6 – Classe Neurônio

/\*Classe que representa um neurônio da rede\*/

```

public class Neuronio {
    /**Função de propagação utilizada neste neuronio*/
    protected Função funçãoPropagação;

    /**Pesos das entradas deste neuronio*/
    protected double[] pesos;

    /**Net calculado por este neuronios*/
    protected double net;

    /**Valor calculada da propagação deste neuronio*/
    protected double propagação;

    /**Erro calculado por este neuronio*/
    protected double erro;

    /**Valor dos sinais que veio como entrada para este neuronio*/
    protected double[] inputs;

    /**
     * Constroi este neuronio com a determinada função de propagação.
     * O parametro numPesos deve bater com o numero de neuronios da camada anterior.
     * Os pesos são setados aleatoriamente de acordo com uma distribuição gaussiana
     * com media 0 e desvio padrão 0
     * @param funçãoPropagação função de propagação deste neuronio
     * @param numPesos numero de pesos que este neuronio possui
     */
    public Neuronio(Função funçãoPropagação, int numPesos){
        this.funçãoPropagação = funçãoPropagação;
        pesos = new double[numPesos];
        for(int i=0;i<numPesos;i++){
            pesos[i] = RedeNeural.rand.nextGaussian();
        }
    }
}

/**

```

```

    * Calcula o valor de propagação deste neurônio.
    * @param entradas sinais de entrada
    * @return retornar o valor de propagação.
    */
    public double calcularPropagação(double[] entradas){
        net = 0;
        inputs = entradas;
        for(int i=0;i<pesos.length;i++){
            net += pesos[i]*entradas[i];
        }
        propagação = funçãoPropagação.compute(net);
        return propagação;
    }

    /**
    * Calcula o erro deste neurônio.
    * Deve ser usado para neurônios da camada oculta.
    * @param soma
    * @return
    */
    public double calculaErro(double soma) {
        erro = funçãoPropagação.derivada(net)*soma;
        return erro;
    }

    /**
    * Calcula o erro deste neurônio.
    * Deve ser usado para neurônios da camada de saída.
    * @param desejado valor desejado deste neurônio de saída.
    * @return retorna o erro deste neurônio.
    */
    public double calculaErroSaida(double desejado) {
        erro = (desejado - propagação)*funçãoPropagação.derivada(net);
        return erro;
    }

    /**
    * Ajusta os pesos deste neurônio de acordo com a taxa do parâmetro e com
    * os erros já calculados.
    * Deve ser chamado após os erros deste neurônio terem sido calculados e
    * de preferência após toda a rede ou a camada anterior a esta ter calculado
    * seus erros.
    * @param taxaAprendizado taxa de aprendizado usado para ajustar os pesos.
    */
    public void ajustarPesos(double taxaAprendizado) {
        for(int i=0;i<pesos.length;i++){
            pesos[i] = pesos[i] + taxaAprendizado*erro*inputs[i];
        }
    }
}

```

### 3.7 – Camada de Processamento

```

/**
 * Representa uma cada de processamento, podendo ser tanto uma camada oculta
 * quanto uma camada de saída.
 */
public class CamadaProcessamento {
    /*Conjunto de neuronios desta camada*/
    protected Neuronio[] neuronios;

    /*Armazena os erros calculados pelos neuronios desta camada para uso futuro*/
    protected double[] erros;

    /**
     * Constroi a camada de neuronios e instancia os neuronios, setando os pesos
     * aleatoriamente seguindo uma distribuição gaussiana com média 0 e desvio
     * padrão 1
     * @param numNeuroniosOcultos Numero de neuronios desta camada
     * @param propagação Função de propagação usadas nos neuronios
     * @param numPesos Numero de pesos que cada neuronios deve ter. Este numero
     * Deve corresponder com o numero de neuronios da camada anterior a esta.
     */
    public CamadaProcessamento(int numNeuroniosOcultos, Função propagação, int
numPesos) {
        neuronios = new Neuronio[numNeuroniosOcultos];
        erros = new double[numNeuroniosOcultos];
        for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
            neuronios[i] = new Neuronio(propagação,numPesos);
        }
    }

    /**
     * Processo de feedFoward desta camada.
     * @param inputs entrada recebida por esta camada
     * @return retonar os sinais propagados por esta camada
     */
    public double[] feedFoward(double[] inputs) {
        double[] sinais = new double[neuronios.length];
        for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
            sinais[i] = neuronios[i].calcularPropagação(inputs);
        }
        return sinais;
    }

    /**
     * Calcula os erros destes neuronios considerando as saidas desejadas.
     * Esse método deve ser chamado apenas para a camada de saída.
     * @param outputEsperado saidas esperadas por essa camada
     */
    public void calculaErros(Double[] outputEsperado) {

```



```

        for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
            erros[i] = neuronios[i].calculaErroSaida(outputEsperado[i]);
        }
    }

    public double[] getErros(){
        return erros;
    }

    /**
     * Calcula os erros destes neuronios considerando os erros propagados pela
     * camada posterior a esta.
     * Esse método deve ser chamado apenas para camadas ocultas.
     * @param saida Camada posterior a esta
     */
    public void calculaErros(CamadaProcessamento saida) {
        for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
            double soma = saida.somaErros(i);
            neuronios[i].calculaErro(soma);
        }
    }

    /**
     * Retorna a soma dos erros destes neuronios "i" multiplicados pelo peso Wij
     * Formula:  $\sum$  (de i=0 até m)(erro(i)*Wij)
     * @param j indice do neurônio da camada oculta anterior para o qual está sendo
     * calculando o erro
     * @return retorna a soma
     */
    private double somaErros(int j) {
        double soma =0;
        for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
            soma+=neuronios[i].erro*neuronios[i].pesos[j];
        }
        return soma;
    }

    /**
     * Ajusta os pesos desse neurônio utilizando a taxa de aprendizado vindo
     * pelo parametro.
     * Este metodo deve ser chamado após está camada ter calculado seus erros e
     * de preferencia após toda a rede ter calculada seus erros
     * @param taxaAprendizado Taxa de aprendizado utilizado para ajustar os pesos
     */
    public void ajustarPesos(double taxaAprendizado) {
        for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
            neuronios[i].ajustarPesos(taxaAprendizado);
        }
    }

```

```

/**
 * Retorna metade da soma dos quadrados dos erros dos neuronios desta camada
 * Formula:  $1/2 * \sum (de\ i=0\ até\ o)(erro(i)^2)$ 
 * Deve ser chamado apenas para a camada de saida.
 * @return Retorna metade da soma.
 */
public double erroRede() {
    double soma = 0;
    for(int i=0;i<neuronios.length;i++){
        soma+=Math.pow(neuronios[i].erro, 2);
    }
    return soma/2;
}

/**
 * Retorna os pesos do neuronio
 * @param neuronio Neuronio no qual será retornado os pesos
 */
public double[] getPesos(int neuronio) {
    return neuronios[neuronio].pesos;
}
}

```

### 3.8 – Rede Neural

```

public class RedeNeural {
    /**Usado para gerar os pesos aleatorios dos neuronios*/
    public static final Random rand = new Random();

    /**Função de propagação usada pelos neuronios da rede*/
    protected Função funçãoPropagação;

    /**Camada de neuronios de entrada*/
    protected CamadaEntrada entrada;

    /**Camadas de neuronios ocultos usados para o processamento*/
    protected CamadaProcessamento[] oculta;

    /**Camada de neuronios na saida*/
    protected CamadaProcessamento saida;

    /**Taxa de aprendizado para esta rede*/
    protected double taxaAprendizado = 0.1;

    /**
     * Numero de iterações para parar o treinamento caso a rede não convergir.
     * Caso o erro da rede seja menor que <code>limiar</code> o treinamento para
     * antes
     */
    protected int numIteraçõesLimite = 20000;
}

```

```

/**Limiar usado para parar o treinamento antes do limite de iterações.
 * O treinamento para caso o valor do erro seja menor que o limiar
 */
protected double limiar = 0.000001f;

/**
 * Cria a rede neural e instancia as camadas e os neuronios da rede.
 * Os pesos dos neuronios são decididos aleatoriamente seguindo uma distribuição
 * gaussiana com media 0 e desvio padrão 1.
 *
 * As camadas ocultas possuem a mesma quantidade de neuronios.
 *
 * @param numNeuroniosEntrada Numero de neuronios na camada de entrada
 * @param numNeuroniosOcultos Numero de neuronios na camada oculta
 * @param numCamadasOcultas Numero de camadas ocultas
 * @param numNeuroniosSaida Numero de neuronios na camada de saida
 * @param propagação Função de propagação que será usado na rede
 */
public RedeNeural(int numNeuroniosEntrada, int numNeuroniosOcultos, int
numCamadasOcultas, int numNeuroniosSaida, Função propagação){
    entrada = new CamadaEntrada(numNeuroniosEntrada);
    oculta = new CamadaProcessamento[numCamadasOcultas];
    oculta[0] = new CamadaProcessamento(numNeuroniosOcultos,
propagação,numNeuroniosEntrada);
    for(int i=1;i<oculta.length;i++){
        oculta[i] = new
CamadaProcessamento(numNeuroniosOcultos,propagação,numNeuroniosOcultos);
    }
    saida = new
CamadaProcessamento(numNeuroniosSaida,propagação,numNeuroniosOcultos);
    funçãoPropagação = propagação;
}

/**
 * Realiza a alimentação na rede com a entrada especificada no parametro
 * @param inputs entrada da rede
 * @return retorna a saida da rede
 */
public double[] feedFoward(double[] inputs){
    double[] sinais = inputs;
    for(int i=0;i<oculta.length;i++){
        sinais = oculta[i].feedFoward(sinais);
    }
    sinais = saida.feedFoward(sinais);
    return sinais;
}

/**
 * Realiza uma iteração na rede.
 * A iteração é composta de um feedfoward e um backpropagation para uma entrada.

```

```

* @param inputs entrada para a iteração
* @param outputEsperado resultado esperado
* @return retorna o erro da rede nesta iteração.
*/
public double iteration(double[] inputs, Double[] outputEsperado){
    double[] output = feedFoward(inputs);
    backPropagation(output,outputEsperado);
    return erroRede();
}

/**
* Realiza o processo de treinamento da rede com as instancias do parametro
* @param instancias instancias utilizadas para o treinamento
*/
public void treinamento(Instancias instancias){
    boolean houveErro;
    double maiorErro;
    instancias.definirSaidasClasses(funçãoPropagação);
    for(int i=0;i<numIteraçõesLimite;i++){
        houveErro = false;
        double erroAtual;
        for(int j=0;j<instancias.size();j++){
            erroAtual=iteration(instancias.getAtributos(j),instancias.getSaida(j));
            if(erroAtual > limiar)houveErro = true;
        }
        if(!houveErro)return;
    }
}

/**
* Testa a rede com o conjunto do parametro e retorna a matriz de confusão
* @param instancias conjunto de testes
* @return matriz de confusão
*/
public int[][] testarRede(Instancias instancias){
    int numClasses = instancias.getNumClasses();
    instancias.definirSaidasClasses(funçãoPropagação);
    int[][] matrizConfusão = new int[numClasses][numClasses];
    for(int i=0;i<numClasses;i++){
        for(int j=0;j<numClasses;j++){
            matrizConfusão[i][j] = 0;
        }
    }
    for(int i=0;i<instancias.size();i++){
        double[] saida = feedFoward(instancias.getAtributos(i));
        int classeCalculada = indexMaiorSinalSaida(saida);
        int classeDesejada = instancias.getIndexClasse(i);
        matrizConfusão[classeCalculada][classeDesejada]++;
    }
}

```

```

    return matrizConfusão;
}

/**
 * Processo de backpropagation da rede
 * @param outputs Saida calculada no final do processo feedFoward
 * @param outputEsperado Saida esperada pela rede
 */
public void backPropagation(double[] outputs, Double[] outputEsperado){
    saida.calculaErros(outputEsperado);
    oculta[oculta.length-1].calculaErros(saida);
    for(int i=oculta.length-2;i>=0;i--){
        oculta[i].calculaErros(oculta[i+1]);
    }
    saida.ajustarPesos(taxaAprendizado);
    for(int i=0;i<oculta.length;i++){
        oculta[i].ajustarPesos(taxaAprendizado);
    }
}

/**
 * @return Retorna o erro da rede para a iteração atual
 */
private double erroRede() {
    return saida.erroRede();
}

/**
 * Verifica em qual indice se encontra a maior valor na saida da rede
 * @param saida
 * @return
 */
private int indexMaiorSinalSaida(double[] saida) {
    int pos=0;
    double maior = Integer.MIN_VALUE;
    for(int i=0;i<saida.length;i++){
        if(maior < saida[i]){
            maior = saida[i];
            pos = i;
        }
    }
    return pos;
}

/**
 * Retorna os pesos de um neuronio
 * @param camada indice da camada
 * @param neuronio indice do neuronio
 * @return
 */

```

```
public double[] getPesos(int camada, int neuronio) {
    if(oculta.length == camada) return saida.getPesos(neuronio);
    return oculta[camada].getPesos(neuronio);
}

public double getTaxaAprendizado() {
    return taxaAprendizado;
}

public void setTaxaAprendizado(double taxaAprendizado) {
    this.taxaAprendizado = taxaAprendizado;
}

public int getNumIteraçõesLimite() {
    return numIteraçõesLimite;
}

public void setNumIteraçõesLimite(int numIteraçõesLimite) {
    this.numIteraçõesLimite = numIteraçõesLimite;
}

public double getLimiar() {
    return limiar;
}

public void setLimiar(double limiar) {
    this.limiar = limiar;
}
}
```