

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DO IPIRANGA**

**CURSO DE ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS**

MARIO THOMAZ APRA

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA PREVISÃO DE PREÇO DE FECHAMENTO DAS AÇÕES NO MERCADO FINANCEIRO

SÃO PAULO

2017



**FACULDADE DE TECNOLOGIA DO IPIRANGA**

**CURSO DE ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS**

MARIO THOMAZ APRA

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA PREVISÃO DE PREÇO DE FECHAMENTO DAS AÇÕES NO MERCADO FINANCEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia do Ipiranga, como requisito parcial para a obtenção do grau de Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Andréia Cristina G. Machion.

SÃO PAULO

2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus parentes, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. À minha tia Simone que foi uma pessoa bem importante no começo da faculdade pelo incentivo.

Agradeço a meus companheiros de maratonas: David Cabrera, Fabio Santana, Felipe Conceição, Lucas Ferreira e Neftales Antunes; aos grandes companheiros do curso, em especial ao Cauê Polimanti e à Juliana Aboud.

Agradeço а todos os professores por me proporcionar conhecimento não apenas racional, mas também а manifestação do caráter е da afetividade da educação durante todo o processo da minha formação. Agradeço por tudo que fizeram por mim, não somente por terem me ensinado com maestria, mas por terem me ensinado algo a mais. А palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados.

Agradeço aos meus eternos mestres, artistas-educadores do espaço Quixote: Andreia de Almeida, Casper, Fabio Prior, Gabriel Draetta, Laura Nogueira, Luiz dos Santos, Marcelo Bolognesi, Ronaldo Crispin, Zuza Gonçalves e a todos os companheiros, em especial aos companheiros mais próximos da Trupe Quixotesca.

Agradeço aos melhores professores da faculdade, que sem eles o curso com certeza não seria o mesmo, por elevarem o nível da faculdade e pela excelência: Ana Claudia, Ana Paula, Andreia Machion, Antonio Guardado, Carlos Menezes, Marcio Fontoura, Marcio Rodrigues, Rodrigo Bossini e Simone Telles.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, о meu muito obrigado.

*“The isolated man does not develop any intellectual power. It is necessary for him to be immersed in an environment of other men, whose techniques he absorbs during the first 20 years of his life. He may then perhaps do a little research of his own and make a very few discoveries which are passed on to other men.”*

*(Alan Mathison Turing*)

RESUMO

A análise de tendências dos preços das ações no mercado financeiro exige um número relevante de variáveis que podem influenciar. Muitos estudos têm sido realizados a fim de se obter modelos que forneçam recomendações de compra e venda de ações, de modo a maximizar os lucros. Considerando que a Bovespa disponibiliza dados referentes às trocas de mensagens entre as partes que constituem o mercado financeiro, as redes neurais podem ser uma técnica adequada para situações com diversas variáveis e padrões a serem descobertos durante essa troca de mensagens. Para isso, é necessário extrair os dados da BM&FBOVESPA, normalizá-los, criar uma rede neural que modele esses dados e sua dinâmica, configurá-la, treiná-la e verificar se ela é eficiente. Assim, este trabalho tem como objetivo criar e validar redes neurais aplicadas à predição de preços no mercado financeiro. Além disso, construir um software que facilite todas essas etapas do processo para que até uma pessoa sem conhecimento em programação possa criar uma rede neural eficiente. O resultado obtido foi um aplicativo computacional que implementa redes neurais que, sob determinadas condições, produzem níveis admissíveis de previsão que pode ser utilizados como ferramenta para auxílio na tomada de decisão de um investidor.

Palavras-chave: Redes neurais. Predição. Mercado financeiro.

ABSTRACT

The analysis of stock price trends in the financial market requires a relevant number of variables that can influence. Many studies have been conducted in order to obtain models that provide recommendations for buying and selling stocks in order to maximize profits. Considering that the Bovespa provides data regarding the exchange of messages between the parties that constitute the financial market, neural networks may be a suitable technique for situations with several variables and patterns to be discovered during this exchange of messages. For this, it is necessary to extract data from BMF&BOVESPA, normalize them, create a neural network that models this data and its dynamics, configure it, train it and verify if this network is efficient. Thus, this work aims to create and validate neural networks applied to prices prediction in the financial market. In addition, build a software that facilitates all these steps of the process so that even a person without programming knowledge can create an efficient neural network. The result was a computational application that implements neural networks that, under certain conditions, produce allowable levels of prediction that can be used as a tool to aid in the decision making of an investor.

Keywords: Neural networks. Prediction. Stock market.

LISTA DE FIGURAS

[Figura 1. Modelo de um Neurônio Artificial 22](#_Toc479868060)

[Figura 2. Funções de ativação 23](#_Toc479868061)

[Figura 3. ActivationLOG 25](#_Toc479868062)

[Figura 4. ActivationSigmoid 25](#_Toc479868063)

[Figura 5. ActivationTANH. 26](#_Toc479868064)

[Figura 6. Comparação entre Elliott (contínua) e Sigmoid (pontilhada) 26](#_Toc479868065)

[Figura 7. Comparação Symmetric Elliott (contínua) e TANH (pontilhada). 27](#_Toc479868066)

[Figura 8. Multilayer perceptron (MLP) 28](#_Toc479868067)

[Figura 9. TLFN focada. 28](#_Toc479868068)

[Figura 10. *Recurrent* *Network* 29](#_Toc479868069)

[Figura 11. Custo de entendimento 30](#_Toc479868070)

[Figura 12. Hierarquia do aprendizado 31](#_Toc479868071)

[Figura 13. Redes com e sem *dropout* 32](#_Toc479868072)

[Figura 14. *Overfitting* com e sem *dropout* 32](#_Toc479868073)

[Figura 15. Maiores altas em 5 dias 36](#_Toc479868074)

[Figura 16. Maiores quedas em 5 dias 36](#_Toc479868075)

[Figura 17. *Product Backlog* 44](#_Toc479868076)

[Figura 18. *Sprint Backlog* 1 – Gerenciar RNA 45](#_Toc479868077)

[Figura 19. *Sprint Backlog* 2 – Treinar RNA 45](#_Toc479868078)

[Figura 20. *Sprint Backlog* 3 – Gerar Relatório 45](#_Toc479868079)

[Figura 21. *Sprint Backlog 4 -* Importar dados BMF 46](#_Toc479868080)

[Figura 22. Atores 46](#_Toc479868081)

[Figura 23. Formato importação BMF 49](#_Toc479868082)

[Figura 24. I001 – Gerenciar Rede Neural 51](#_Toc479868083)

[Figura 25. Formato importação RNA 52](#_Toc479868084)

[Figura 26. I002 - Treinar Rede Neural 54](#_Toc479868085)

[Figura 27. I003 - Gerar Relatório 56](#_Toc479868086)

[Figura 28. Diagrama de Classes de negócio 58](#_Toc479868087)

[Figura 29. Diagrama de implantação 59](#_Toc479868088)

[Figura 30. Diagrama de classes de projeto – *Create NN* 60](#_Toc479868089)

[Figura 31. Diagrama de sequência - *Create NN* 60](#_Toc479868090)

[Figura 32. Diagrama de classes de projeto - *Choose NN* 61](#_Toc479868091)

[Figura 33. Diagrama de sequência - Choose NN 61](#_Toc479868092)

[Figura 34. Diagrama de classes de projeto *- Import BMF Data* 61](#_Toc479868093)

[Figura 35. Diagrama de sequência *- Import BMF Data* 62](#_Toc479868094)

[Figura 36. Diagrama de classes de projeto - *Comparative Chart* 62](#_Toc479868095)

[Figura 37. Diagrama de sequência - *Comparative Chart* 63](#_Toc479868096)

[Figura 38. Diagrama de classes de projeto *- Train NN* 63](#_Toc479868097)

[Figura 39. Diagrama de sequência - *Train NN* 64](#_Toc479868098)

[Figura 40. Topologia da RNA utilizada 65](#_Toc479868099)

[Figura 41. Código implementação topologia 66](#_Toc479868100)

[Figura 42. Código *Factory* função de ativação 68](#_Toc479868101)

[Figura 43. Ajuste *Date Interval* 68](#_Toc479868102)

[Figura 44. Código *mixed data* 69](#_Toc479868103)

[Figura 45. Código *calculated data* 70](#_Toc479868104)

[Figura 46. Código vetor de pessoa 71](#_Toc479868105)

[Figura 47. Código *normalize data* 72](#_Toc479868106)

[Figura 48. Código *get max and min* 73](#_Toc479868107)

[Figura 49. Código *getNormalizedValue* 74](#_Toc479868108)

[Figura 50 Código exemplo Javadoc 76](#_Toc479868109)

[Figura 51. Resultado javadoc do método *train* 76](#_Toc479868110)

[Figura 52. Exemplo de *inner class* 80](#_Toc479868111)

[Figura 53. Diferença entre *inner class* e *lambda* 80](#_Toc479868112)

[Figura 54. Implementação do *main* com *lamda* 81](#_Toc479868113)

[Figura 55. Diferenças entre *for* 82](#_Toc479868114)

[Figura 56. Código *lambda* e *method* *reference* 82](#_Toc479868115)

[Figura 57. Código *compareByVolume* 83](#_Toc479868116)

[Figura 58. Código de ordenação 83](#_Toc479868117)

[Figura 59. Código exemplo *stream* – pegando dados 84](#_Toc479868118)

[Figura 60. Exemplo código *stream* - sobrescrita *toString* 84](#_Toc479868119)

[Figura 61. Saída do código de exemplo da *stream* 85](#_Toc479868120)

[Figura 62. Código exemplo *stream* 86](#_Toc479868121)

[Figura 63. Ilustração código stream 87](#_Toc479868122)

[Figura 64. Código *stream* com paralelismo 88](#_Toc479868123)

[Figura 65. Código exemplo paralelismo 88](#_Toc479868124)

[Figura 66. Saída código exemplo paralelismo 89](#_Toc479868125)

[Figura 67. Código updateMaxMin 89](#_Toc479868126)

[Figura 68. Interface 1 - *initial* 92](#_Toc479868127)

[Figura 69. Interface 1 - *error* 93](#_Toc479868128)

[Figura 70. Interface 1 – *success* 94](#_Toc479868129)

[Figura 71. Interface 1 - *add hidden layer* 94](#_Toc479868130)

[Figura 72. Interface 1 - *activation functions* 95](#_Toc479868131)

[Figura 73. Interface 1 – *overwrite* 96](#_Toc479868132)

[Figura 74. Interface 1 – *don’t overwrite* 97](#_Toc479868133)

[Figura 75. Interface 1 *- NN don't exists* 99](#_Toc479868134)

[Figura 76. Interface 1 - *NN loaded* 100](#_Toc479868135)

[Figura 77. Interface 2 – initial 101](#_Toc479868136)

[Figura 78. Interface 2 - *null dates* 102](#_Toc479868137)

[Figura 79. Interface 2 - *null NN* 102](#_Toc479868138)

[Figura 80. Interface 2 - *Learning Rules* 103](#_Toc479868139)

[Figura 81. Interface 2 – *dates* 104](#_Toc479868140)

[Figura 82. Interface 2 - *from after to* 105](#_Toc479868141)

[Figura 83. Interface 2 - *don't have data form selected date* 106](#_Toc479868142)

[Figura 84. Interface 2 – *trained* 107](#_Toc479868143)

[Figura 85. Interface 3 – *initial* 109](#_Toc479868144)

[Figura 86. Interface 3 - *null NN* 110](#_Toc479868145)

[Figura 87. Interface 3 - *report created* 110](#_Toc479868146)

[Figura 88. Interface 3 - *report with 2 attributes* 111](#_Toc479868147)

LISTA DE TABELAS

[Tabela 1. Comparativo Elliott 27](#_Toc479855073)

[Tabela 2. Preços PRIO3 “puros” 35](#_Toc479855074)

[Tabela 3. PRIO3 normalizado 35](#_Toc479855075)

[Tabela 4. Comparativo software 39](#_Toc479855076)

[Tabela 5. Notas softwares 39](#_Toc479855077)

LISTA DE EQUAÇÕES

[Equação 1. Neurônio Artificial 23](#_Toc479855078)

[Equação 2. ActivationLOG 24](#_Toc479855079)

[Equação 3. ActivationSigmoid 25](#_Toc479855080)

[Equação 4. ActivationTANH 26](#_Toc479855081)

[Equação 5. Elliott 26](#_Toc479855082)

[Equação 6. Symmetric Elliott 27](#_Toc479855083)

[Equação 7. Normalização 34](#_Toc479855084)

[Equação 8. Normalização com margem 34](#_Toc479855085)

[Equação 9. Normalização exemplo 35](#_Toc479855086)

LISTA DE ABREVIATUAS E SIGLAS

RNA - Rede Neural Artificial

LOG - Logaritmo

TANH - Tangente Hiperbólica

MLP - *Multlayer Perceptron*

TLFN - *Time Lagged Feed-forward Network*

IDE – *Integrated Development Environment*

API - *Application Programming Interface*

AI – *Artificial Intelligence*

IBM - *International Business Machines*

SUMÁRIO

[1. INTRODUÇÃO 19](#_Toc479868148)

[1.1 Objetivos 20](#_Toc479868149)

[1.2 Justificativa 20](#_Toc479868150)

[1.3 Métodos e Tecnologias 20](#_Toc479868151)

[1.4 Organização do Trabalho 21](#_Toc479868152)

[2. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS 22](#_Toc479868153)

[2.1 Motivação para utilizar Redes Neurais na Predição. 23](#_Toc479868154)

[2.2 Funções de Ativação 23](#_Toc479868155)

[2.2.1 ActivationBiPolar 24](#_Toc479868156)

[2.2.2 Activation Competitive 24](#_Toc479868157)

[2.2.3 ActivationLinear 24](#_Toc479868158)

[2.2.4 ActivationLOG 24](#_Toc479868159)

[2.2.5 ActivationSigmoid 25](#_Toc479868160)

[2.2.6 ActivationSoftMax 25](#_Toc479868161)

[2.2.7 ActivationTANH 26](#_Toc479868162)

[2.2.8 Elliott 26](#_Toc479868163)

[2.2.9 Symmetric Elliott 27](#_Toc479868164)

[2.3 Topologias da Rede Neural 27](#_Toc479868165)

[2.3.1 Feed-Forward 28](#_Toc479868166)

[2.3.2 Recurrent Network 29](#_Toc479868167)

[2.4 Aprendizagem 30](#_Toc479868168)

[2.4.1 Backpropagation 33](#_Toc479868169)

[2.4.2 ResilientPropagation 33](#_Toc479868170)

[2.4.3 ManhattanPropagation 33](#_Toc479868171)

[2.4.4 QuickPropagation 33](#_Toc479868172)

[2.4.5 ScaledConjugateGradient 34](#_Toc479868173)

[2.5 Normalização 34](#_Toc479868174)

[3. Benchmark 37](#_Toc479868175)

[3.1 Excel + VBA 37](#_Toc479868176)

[3.2 Weka 37](#_Toc479868177)

[3.3 Neuroph Studio 38](#_Toc479868178)

[3.4 Matlab 38](#_Toc479868179)

[3.5 NeuroFURG 38](#_Toc479868180)

[3.6 Comparativo 39](#_Toc479868181)

[4. REQUISITOS DO SISTEMA DE SOFTWARE 41](#_Toc479868182)

[4.1 Identificação dos requisitos 41](#_Toc479868183)

[4.1.1 Prioridades dos requisitos 41](#_Toc479868184)

[4.1.2 Requisitos Funcionais 42](#_Toc479868185)

[4.1.3 Requisitos Não-Funcionais 43](#_Toc479868186)

[4.1.4 Regras de Negócio 44](#_Toc479868187)

[4.1.5 Product e Sprint Backlog 44](#_Toc479868188)

[4.2 Modelagem dos requisitos funcionais 46](#_Toc479868189)

[4.2.1 Atores 46](#_Toc479868190)

[4.2.2 Diagrama de Caso de uso 46](#_Toc479868191)

[4.2.3 Especificação do Caso de Uso 48](#_Toc479868192)

[5. Desenvolvimento do projeto 58](#_Toc479868193)

[5.1 Análise 58](#_Toc479868194)

[5.1.1 Diagrama de Classes de Análise (Visão de Negócio) 58](#_Toc479868195)

[5.2 Projeto 59](#_Toc479868196)

[5.2.1 Arquitetura do Sistema 59](#_Toc479868197)

[5.2.2 Diagrama de Classes de Projeto por Caso de Uso 60](#_Toc479868198)

[6. Detalhes de implementação. 65](#_Toc479868199)

[6.1 Topologia 65](#_Toc479868200)

[6.2 Função de ativação 67](#_Toc479868201)

[6.3 Date Interval 68](#_Toc479868202)

[6.4 Normalizador de dados 72](#_Toc479868203)

[6.5 Javadoc 75](#_Toc479868204)

[6.5.1 Tag @author 77](#_Toc479868205)

[6.5.2 Tag @version 77](#_Toc479868206)

[6.5.3 Tag @param 77](#_Toc479868207)

[6.5.4 Tag @return 78](#_Toc479868208)

[6.5.5 Tag @exception (@throws) 78](#_Toc479868209)

[6.5.6 Tag @see 78](#_Toc479868210)

[6.5.7 Tag @since 79](#_Toc479868211)

[6.5.8 Tag @deprecated 79](#_Toc479868212)

[6.6 Recursos do Java 8 79](#_Toc479868213)

[6.6.1 Functional Programming 79](#_Toc479868214)

[6.6.2 Inner Class (Classes anônimas) 80](#_Toc479868215)

[6.6.3 Lambda 80](#_Toc479868216)

[6.6.4 ForEach 81](#_Toc479868217)

[6.6.5 Method Reference 82](#_Toc479868218)

[6.6.6 Stream 83](#_Toc479868219)

[7. Resultados Obtidos 92](#_Toc479868220)

[7.1 Criar RNA 92](#_Toc479868221)

[7.2 Escolher RNA 99](#_Toc479868222)

[7.3 Treinar RNA 101](#_Toc479868223)

[7.4 Gerar Relatório 109](#_Toc479868224)

[8. Considerações Finais 113](#_Toc479868225)

[8.1 Conclusão 113](#_Toc479868226)

[8.2 Trabalhos futuros 113](#_Toc479868227)

[8.2.1 Gráfico 113](#_Toc479868228)

[8.2.2 Comparativo entre outras RNA 114](#_Toc479868229)

[8.2.3 Base de dados 114](#_Toc479868230)

[8.2.4 Outros relatórios 114](#_Toc479868231)

[8.2.5 Layout 115](#_Toc479868232)

[9. Bibliografia 116](#_Toc479868233)

# INTRODUÇÃO

As ações são títulos representativos do capital social de uma companhia aberta, que é negociada em bolsa de valores. Seu preço é fruto das condições de oferta e demanda que refletem a economia do país, específicas da empresa e de seu setor econômico. (FORTUNA, 2008).

Tentar prever os preços das ações na bolsa de valores é algo que todo mundo que conhece um pouco deste mundo já sonhou algum dia. O segundo estágio para escolher um investimento começa com crenças relevantes sobre o desempenho futuro, tais como possíveis descontos ou retornos sobre os investimentos. Um exemplo é vender uma ação a um preço maior do que foi pago por ela e, neste caso, nota-se a importância de prever os preços futuros (MARKOWITZ, 1952).

O estudo de Inteligência Artificial (IA) tem em uma de suas razões o entendimento do ser humano, mas não como filosofia ou psicologia, que também se concentra na inteligência, mas em como construir entidades inteligentes. Outra razão é a importância desta construção por si só. É notório que ninguém consegue prever o futuro em detalhes, mas um computador com a capacidade da inteligência humana pode ter um grande impacto no dia-a-dia e no futuro da civilização. (RUSSELL e NORVIG, 2005)

A empresa que trabalha com IA voltada para o mercado que mais chamou atenção foi a Numerai, que é uma empresa criada no final de 2015 como sendo um torneio para predição do mercado financeiro para cientistas de dados e desde lá, já recebeu 14 bilhões de preços previstos. Eles pegam os modelos que possuem maior acurácia nos resultados obtidos, medidos por meio da diferença entre os dados reais e os obtidos pelas redes submetidas e usam em seu fundo de investimentos real e em troca, remunera os melhores contribuintes com Bitcoins. Além disso, é gratuito e livre para qualquer pessoa submeter os resultados obtidos pelas suas redes. (NUMERAI, 2016)

Voltando um pouco para a origem da IA, um questionamento muito importante no começo da sua evolução é: um computador pode pensar? Essa foi uma pergunta com a qual Alan Turing (1950), precursor da IA, começou sua publicação. Ele faz uma comparação com a objeção de Lady Lovelace, que diz que uma máquina só pode fazer o que dizem para ela fazer. Esta pergunta continua sendo atual, é muito difícil responder se um computador pode pensar ou não.

Para tentar responder a essa pergunta, uma motivação para se trabalhar com redes neurais é a diferença entre o processamento realizado por um cérebro humano e por um computador convencional. O cérebro é altamente complexo, não linear e processa as informações paralela e muito rapidamente. Há alguns casos em que o cérebro humano é muito superior, em capacidade de processamento e entendimento, do que um computador, como é o caso da visão, ou o reconhecimento de um de um rosto familiar dentre vários rostos desconhecidos em aproximadamente 150 ms (HAYKIN, 1998).

Por outro lado, uma das conquistas mais simbólicas e famosas do uso da aplicação da IA ocorreu em maio de 1997, na qual *Deep Blue*, um computador da IBM, conquistou um feito inédito que foi ganhar de um dos melhores jogadores de xadrez da história, Garry Kasparov, com um placar de duas vitórias, uma derrota e três empates para a máquina. Esse feito foi importante não só por vencer uma partida de xadrez, mas pela arquitetura usada na construção dessa brilhante máquina que foi aplicada à análise de riscos para o mercado financeiro, à dinâmica molecular para descobrir e desenvolver novos remédios, à mineração de dados e, principalmente, ao desenvolvimento e entendimento sobre os limites da programação e da arquitetura paralela de uma forma massiva (IBM, 2011).

Não é de hoje que alguns fundos de investimentos usam de alguma forma o poder da computação para auxiliar a atuar no mercado financeiro. Esse poder vai desde o uso de negociação algorítmicapara aumentar a liquidez de um papel, como no trabalho do Hendershott, Jones e Menkveld (2011) ou para operar em mercados, como em Chabou, Chiquioine, *et al* (2014) até o uso da IA para tomada de decisões, inclusive passando por momentos difíceis nessa área, como o recente *Brexit* (Saída do Reino Unido da União Europeia),e conseguindo ótimos retornos, como no caso da Kathleen e Komaki (2016).

Vários trabalhos acadêmicos foram realizados demonstrando a eficácia do uso de IA, mais especificamente das redes neurais para predição dos preços das ações. Um dos primeiros, feito por Kimoto, Asakawa, *et al.* (1990), previu tendencias no indice de Tokio, ou o realizado por Thomaz e Vellasco (2005) que desenvolveu um modelo para varios indicativos financeiros, ou o trabalho de Refenes, Zapranis e Francis (1994) que criou uma rede para prever medias moveis, entre outros. Os trabalhos elencados não abordavam a criação de uma rede, somente sua aplicação. Desta forma, a partir da fundamentaçao desenvolvida, este projeto propoe o desenvolvimento de um software para auxiliar nas tarefas da criacao da rede neural, extracao dos dados, normalizacao, treinamento e validacao da rede.

## Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver um software para auxiliar nas tarefas da criacao da rede neural, extracao dos dados, normalizacao, treinamento e validacao da rede.

## Justificativa

Uma das tarefas da análise de dados do mercado financeiro é identificar padrões nos preços das ações, que podem servir para predição de preços futuros. Entretanto, os históricos de cotações são naturalmente dispostos em séries temporais, que necessitam de grande esforço tanto para extração das informações quanto para sua modelagem e tudo isso requer bons conhecimentos de programação e de manipulação de softwares.

Acredita-se que um software que incorpore facilidades de manuseio e opções de alto nível de abstração para que um usuário obtenha seus resultados com a precisão desejada, seja por meio da escolha da base de dados a ser analisada, seja pela configuração do algoritmo a ser utilizado (no caso, uma rede neural), seja de grande utilidade para que o usuário consiga ter predições confiáveis para atingir seus objetivos.

## Tecnologias e Ferramentas de Apoio

O software está escrito na linguagem Java 8 (ORACLE, 2014), com a biblioteca YahooFinance API (STRICKX, 2014) para extração dos dados e Encog Framework (RESEARCH, 2013) para a criação da rede neural.

## Organização do Trabalho

Este trabalho é composto por oito capítulos, incluindo esta introdução. O Capítulo 2 introduz os conceitos gerais sobre redes neurais. O Capítulo 3 apresenta algumas ferramentas para a criação de redes neurais, analisando suas contribuições e o que deixam a desejar para esta tarefa específica. O Capítulo 4 apresenta os requisitos do software desenvolvido. O Capítulo 5 apresenta o desenvolvimento do projeto. O Capítulo 6 apresenta alguns detalhes técnicos da implementação do sistema. O Capítulo 7 apresenta os resultados obtidos. O Capítulo 8 apresenta as considerações finais.

# REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Rede Neural pode ser definida como um processador massivamente distribuído e paralelo, feito de unidades de processamentos simples que tem uma propensão natural em armazenar conhecimentos empíricos e tornar isso disponível para o uso. Lembra um cérebro em dois aspectos (HAYKIN, 2009):

1. O conhecimento é adquirido pela rede a partir do ambiente em que se encontra durante um processo de aprendizagem
2. Os pesos sinápticos, ou forças de interconexão, são usados para armazenar os conhecimentos obtidos.

Assim, pode-se dizer que uma Rede Neural Artificial (RNA) é uma combinação de neurônios artificiais, portanto, para entender uma RNA, é imprescindível saber como funciona um neurônio artificial (Figura 1). Segundo (TAFNER, 1998, p. 1):

“O neurônio artificial é uma estrutura lógico-matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico. Assim sendo, os dendritos foram substituídos por *entradas*, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas através de elementos chamados de *peso* (simulando as sinapses). Os estímulos captados pelas entradas são processados pela *função de soma*, e o limiar de disparo do neurônio biológico foi substituído pela *função de transferência*. ”

Figura . Modelo de um Neurônio Artificial



Fonte: (VON ZUBEN e ATTUX, 2010).

A Equação 1 mostra a fórmula de um neurônio artificial com o bias (VON ZUBEN e ATTUX, 2010):

Equação 1. Neurônio Artificial



Na Equação 1, Yk é a saída do neurônio, f representa a função de ativação, dentro dos parênteses um somatório dos sinais de entrada (xj) com os pesos sinápticos (wkj) com o bias (bk). O Bias tem o efeito de deslocar a funcao linear da somatoria dos pesos, tanto para cima (quando positivo) quanto para baixo (quando negativo), transformando a saida do neuronio. (HAYKIN, 2009)

## Motivação para utilizar Redes Neurais na Predição.

O principal benefício do uso de uma RNA é a capacidade de generalização, que é a capacidade de uma rede aprender, isto é, produzir uma saída adequada mesmo para entradas não encontradas durante o treinamento (HAYKIN, 2009). Um exemplo prático: uma alteração grande no volume financeiro negociado geralmente indica um aumento na volatilidade das ações.

Outro ponto importante é a adaptabilidade, que é a capacidade de uma RNA alterar seus pesos sinápticos, devido a modificações no meio ambiente, em tempo real (HAYKIN, 2009). No contexto complexo do mercado financeiro, no qual diversos fatores podem afetar o preço de uma ação, como fatores psicológicos, notícias, divulgação de resultados, regulamentação, entre outros, essa capacidade é essencial.

## Funções de Ativação

A função de ativação restringe o valor recebido pela função soma, limitando a amplitude da saída de um neurônio a um intervalo de [0, 1] ou [-1, 1] (HAYKIN, 2009). Ela tem a função de manter o neurônio ativado quando as entradas fornecidas forem corretas e mantê-lo inativo quando forem incorretas (RUSSELL e NORVIG, 2005).

Existem vários tipos de funções de ativação, dentre elas a função linear (a), função rampa (b), função *step* (c) e função sigmoide (d). Esta última é a mais utilizada e é uma mistura entre funções lineares e não lineares (HAYKIN, 2009), que são exemplificadas na Figura 2.

Figura . Funções de ativação



Fonte: (DO CARMO ROQUE e DE MELLO, 2009)

O software disponibiliza várias funções de ativação: Bi Polar, Competitive, Linear, LOG, Sigmoid, Soft Max, TanH (HEATON, 2011), Elliott, Symmetric Elliott (WINRICH, 2015)

## Topologias das Redes Neurais

Existem dois tipos de topologias para uma RNA: *feed-forward* (alinhadas à frente) e *recurrent network* (redes recorrentes) (RUSSELL e NORVIG, 2005).

### Feed-Forward

As redes *feed-forward* podem conter uma (*single-layer*) ou mais camadas (*multilayer*). Existe uma camada de entrada e uma de saída (nesta ordem), e as demais camadas que estão entre elas, também chamadas de ocultas. Adicionando essas camadas ocultas, a rede tem a possibilidade de extrair estatísticas mais robustas da camada de entrada. (HAYKIN, 2009)

Figura . Multilayer perceptron (MLP)



Fonte: (HAYKIN, 2009)

Na Figura 3, percebe-se que os dados têm um fluxo que vai da camada de entrada, passando pelas camadas escondidas (se houver) e por fim vai para a camada de saída. Além disso, após passar por uma camada, o dado nunca volta para uma camada anterior nem fica na mesma.

#### Incorporação do Tempo em Feed-Forward

Dentre algumas aplicações que necessitam a incorporação do tempo, destaca-se a previsão e modelagem de séries temporais. Para que uma rede tenha esse dinamismo, é necessário que possua memória, podendo ser de curto ou longo prazo. Para fazer isso, uma das formas possíveis é adicionar atrasos de tempo, que podem ser adicionados nos pesos sinápticos ou na entrada da rede (HAYKIN, 2009).

Um exemplo para este caso, é a TLFN focada (*focused time lagged feed-forward network*), na qual os atrasos de tempo são incorporados somente na camada de entrada.

Figura . TLFN focada.



Fonte: (HAYKIN, 1998)

A Figura 4 ilustra uma TLFN focada, na qual as entradas são apresentadas à camada de entrada neurônio por neurônio, ou seja, com um *delay.* O primeiro neurônio alimentado com o dado do instante n, o segundo com o dado do n*-1* e assim por diante, até atingir todos os neuronios da camada (p).

### Recurrent Network

Outra forma de dar dinamismo e incorporar o fator tempo a uma rede é com o uso de uma rede recorrente, que é o caso deste trabalho. A diferença entre a rede recorrente e a *feed-forward* é que ao menos um neurônio é alimentado por outro que se encontra na mesma camada ou em uma camada posterior. Este mecanismo gera um ciclo de *feedback*, que tem um profundo impacto na capacidade de aprendizagem da rede e em seu desempenho (HAYKIN, 2009).

Um exemplo de uso para redes recorrentes é para a previsão de séries temporais, nas quais o resultado de um período é fonte de dado para outro período (HAYKIN, 2009).

Figura . *Recurrent* *Network*



Fonte: (HAYKIN, 2009)

A Figura 10 ilustra uma rede recorrente, e nota-se a diferença dita anteriormente: o fluxo de dados tem uma parte cíclica.

Não existem regras para a escolha da topologia da rede na questão de quantos neurônios ou quantas camadas, somente indicações. Um bom método para a escolha é por meio da "tentativa e erro", baseando-se em trabalhos anteriores (MANTOVANI, 2011).

## Aprendizagem

A aprendizagem consiste no ajuste dos pesos das sinapses para obter as saídas desejadas. Ela é um dos fatores mais importantes na boa formação da RNA. (HEATON, 2011)

Figura . Hierarquia do aprendizado



Fonte: (MONARD e BARANAUSKAS, 2003).

Monard e Baranauskas (2003) explicam a Figura 12, suas tipologias e vários paradigmas de aprendizado. Neste trabalho será explicado somente o aprendizado supervisionado, que será utilizado.

“Um ponto importante a ser considerado é a escolha de atributos com boa capacidade preditiva. Não importa qual método seja empregado, os conceitos que podem ser aprendidos estão à mercê dos dados e da qualidade dos atributos. Por exemplo, para a tarefa de determinar se uma pessoa está ou não com gripe, pode-se escolher atributos com baixo poder preditivo, tais como (cor-do-cabelo, cor-do-olho, modelo-do-carro, número-de-filhos) ou atributos com alto poder preditivo, tais como (temperatura, resistência-da-pele, exame do-pulmão). Para esta tarefa específica, no segundo caso, melhores previsões em exemplos não-rotulados provavelmente ocorrerão do que com o primeiro conjunto de atributos. ” (MONARD e BARANAUSKAS, 2003, p.43).

Usando os pontos levantados pela citação anterior e conversas com especialistas no mercado financeiro, foi decidido deixar disponíveis os seguintes dados para formar a entrada: preço de abertura, preço máximo do dia, preço mínimo do dia, preço de fechamento (cotação) e volume.

Figura . Redes com e sem *dropout*



Fonte: (SRIVASTAVA, HINTON, *et al.*, 2014)

Além disso, existe um parâmetro importante a ser considerado: o *dropout rate*, que é utilizado para evitar que a rede decore ao invés de aprender, conhecido como *overfitting*. Com o uso do *dropout*, alguns neurônios são desativados, como se fossem removidos temporariamente (daí o nome *drop*), como pode-se verificar comparando-se as redes ilustradas nas Figura 13 (a) e (b).

A seguir são apresentados os principais algoritmos de treinamento abordados pelo software desenvolvido.

### Backpropagation

Chauvin e Rumelhart (1995) abordam o funcionamento e algumas aplicações do algoritmo. Uma breve explicação pode ser feita da seguinte forma:

1. Após os dados chegarem à saída, são analisados os erros dessa camada. É determinado o erro de acordo com a contribuição de cada neurônio da camada de saída, usando como base seu conhecimento (peso).
2. Esses pesos são ajustados para minimizar o erro da saída.
3. Este processo continua de forma regressiva pelas camadas da rede (por isso o nome *Backpropagation*).

Este foi um dos primeiros algoritmos a ser desenvolvido para realizar o treinamento de uma rede neural. Naturalmente, depois de muitos estudos realizados, foi possivel alcançar melhores resultados a partir de novos algoritmos baseados neste, como: Resilient Propagation (RIEDMILLER e BRAUN, 1993), Manhattan Propagation (HEATON RESERACH, 2014), Quick Propagation (FAHLMAN, 1988),  Scaled Conjugate Gradient (MØLLER, 1993).

## Normalização

Apesar de uma RNA ser bem “inteligente”, ela não consegue processar o dado de qualquer forma. Ela aceita receber números de ponto flutuante (*float*), de acordo com a função de ativação (entre -1 e 1, ou 0 e 1) (HEATON, 2011).

É possível normalizar os dados de várias formas, desde regra de três até o o uso de equações. A ideia básica é verificar qual é o valor máximo possível, o mínimo e ver a razão do número entre eles, como mostra na Equação 7.

Equação . Normalização

Neste caso, o *x* é o valor a ser normalizado, *xmax* e *xmin* são os valores extremos da entrada, e *d*1e *d*2 são os valores extremos da saída. Considere que existem n dados de entrada no intervalo [0,10], então xmin = 0 e xmax = 10. Esses dados devem ser reduzidos ao intervalo [0,1], então d1 = 0 e d2 = 1.

Para a implementação do software, além desses limites, foi acrescentado um valor de margem, a fim de evitar que um possível resultado não conhecido venha a interferir na rede como um todo.

Equação . Normalização com margem

Como mostra a Equação 8, a margem é adicionada somente aos valores extremos. É possível observar que para fazer este procedimento, precisa-se percorrer toda a entrada dos dados e descobrir quais são os valores extremos.

A Tabela 2 exemplifica os dados utilizados pelo software no período de 13 dias úteis para a ação de PRIO3. A tabela é separada entre os valores dos preços e em quantidades de ações negociadas (volume). Essa separação é importante para que os significados de cada valor sejam preservados e que o limite tenha um sentido.

As marcas verdes representam os valores máximos da amostra, enquanto que as vermelhas representam os valores mínimos. Esses valores são úteis para a normalização dos dados, conforme mostrado na Seção 2.5.

Tabela . Preços PRIO3 “puros”



Fonte: Autor (2017)

Para uma margem de 100%, ou seja, os valores extremos dos preços serão 0 e 36 e dos volumes, 0 e 57400 e para uma entrada entre 0 e 1 a equação dos preços fica da seguinte maneira:

Equação . Normalização exemplo



A Tabela 3 mostra os dados normalizados conforme as condições anteriores. Para o volume, usa-se a mesma ideia, porém os valores para *xmax* e *xmin* são 57400 e 0, respectivamente.

Tabela . PRIO3 normalizado



Fonte: Autor (2017)

O sugerido pelo software, ao treinar uma rede é 20%, ou seja, uma ação pode alterar em 20% seus preços limites (dobrar seu preço máximo ou “zerar”) sem que isso interfira na rede. Este é um ambiente totalmente possível, como mostram a Figura 15 e a Figura 16.

Figura . Maiores altas em 5 dias



Fonte: (BARCHART, 2016)

Figura . Maiores quedas em 5 dias



Fonte: (BARCHART, 2016)

# ESTADO DA ARTE

Neste capítulo apresentam-se alguns softwares disponíveis que contribuem na criação de uma RNA que faz predição dos preços de ações, bem como a comparação entre eles. A comparação é feita com base na quantidade de etapas que o software consegue realizar em relação ao total de etapas necessárias e desejáveis.

## Excel + VBA

O Excel é um dos mais famosos editores de planilhas no mercado. Com ele é possível descobrir as ideias ocultas nos dados com a estruturação, formatação, organização e análise, mostrar os dados da melhor forma com o uso de gráficos, tendências e padrões em evidência e compartilhar e colaborar o arquivo com outras pessoas (MICROSOFT, 2016)

A linguagem de programação VBA permite customizar os aplicativos do Office. Com ela é possível automatizar tarefas repetitivas e integrar as aplicações do Office. (MICROSOFT, 2009)

No caso da análise de ações, com o Excel é possível criar campos para escolher o período para o qual se deseja extrair os dados, escolher os papeis e os campos. Após essa operação, com o uso do VBA faz-se a extração dos dados de alguma fonte, como por exemplo, do site do Yahoo. De posse dos dados, descobrem-se os valores limites da amostra e faz-se a normalização dos valores com possíveis margens no Excel. A etapa de treinamento da rede é possível com o uso de alguns módulos de extensão (*add-ins*) como o NeuroXL (FRANZ AG, 1998), ou o NeuroNetwork Add-in (ADELAIDE, 2010). Essas opções não são completas, mas é possível criar uma rede, mesmo que bem simples. A etapa de geração do relatório pode ser executada facilmente com a criação de gráficos no Excel e com cálculos de medidas estatísticas relevantes disponívels no software excel.

## Weka

Weka é uma poderosa coleção de algoritmos de *machine learning* no contexto de *data mining*. O nome faz a referência a um pássaro que não voa, encontrado somente na Nova Zelândia, já que foi desenvolvido na Universidade de Waikato localizado neste país. (UNIVERSITY OF WAIKATO, 2010)

Com este software é possível normalizar os dados, escolhendo-se apenas os limites (BROWNLEE, 2016). Não é possível escolher uma margem de forma direta, somente com aplicação da Equação 8, sendo assim, essa capacidade será desconsiderada.

Para a criação da rede, pode-se escolher quantas camadas a rede terá, bem como quantos neurônios por camada. A escolha da função de ativação, bem como do algoritmo de aprendizagem não é suportada. Também é possível escolher os períodos de treinamento e de validação e configurar alguns avisos caso a rede dê algum tipo de erro (WEKA, 2010).

## Neuroph Studio

O Neuroph Studio é um framework leve para Java que auxilia o desenvolvimento de arquiteturas de redes neurais, com o intuito de simplificar esse desenvolvimento.(NEUROPH, 2008).

Com o uso deste software, é possível criar uma RNA bem completa, sendo possível escolher quantos neurônios por camada, quantas camadas, a função de ativação (chamada função de transferência) por neurônio e o algoritmo de aprendizado (chamado regra de aprendizado). Como no caso do Weka, só é possível fazer a normalização dos valores somente escolhendo os limites, sem a margem. (NEUROPH, 2014)

Como resultado, tem-se um gráfico com o total de erros por iteração, mas medidas estatísticas como desvio padrão e variância não são nativas. (NEUROPH, 2014)

## Matlab

O Matlab é uma ferramenta voltada para otimização ou resolução de problemas científicos ou da engenharia. Ele possui uma linguagem de programação própria e está presente em sistemas de segurança automotiva, veículos espaciais interplanetários, dispositivos de monitoramento de saúde, redes de internet de celulares, entre outros. É usado para algoritmos de *machine learning*, processamento de imagem, visão computacional, comunicação, computação financeira, robóticas e muito mais (MATHWORKS, 2007)

A normalização é realizada somente com os limites, sem as margens. É possível definir quantas camadas e quantos neurônios por camada, escolher a função de ativação por camada e o algoritmo de treinamento. Além disso, ele também gera um gráfico com o erro por tempo de treinamento (epoca) (DEMUTH e BEALE, 2003).

## NeuroFURG

O NeuroFURG é uma ferramenta de construção e simulação de RNAs com o foco nos modelos de neurônios Perceptron e Adaline (esse último não abordado neste trabalho). (NEUROFURG, 2011)

Esta ferramenta é muito simples e não tem a funcionalidade de adicionar camadas ocultas, ou escolher quantos neurônios por camada, ou até mesmo a função de ativação, nem o algoritmo de aprendizagem. Com ele só dá para fazer uma rede com dois neurônios, e sem muita complexidade. É possível gerar um gráfico com o erro. (NEUROFURG, 2011)

## Comparativo

Tabela . Comparativo entre os softwares descritos



Fonte: Autor (2017)

Pode-se notar que nenhum software é capaz de realizar todas as operações. Enquanto alguns são voltados somente às redes em si, outros permitem fazer a normalização dos dados e a extração, conforme mostra a Tabela 4.

# REQUISITOS DO SISTEMA DE SOFTWARE

Este capítulo tem como objetivo especificar os requisitos funcionais, não funcionais e a regras de negócio, bem como apresentar o protótipo de telas e o cronograma de atividades do desenvolvimento do software. O texto a seguir descreve conceitos e padrões de especificação dos requisitos de software.

## Identificação dos requisitos

Por convenção, a referência a requisitos é feita através do nome da subseção onde eles estão descritos, seguidos do identificador do requisito, de acordo com a especificação a seguir:

* **Requisitos funcionais** devem ser identificados por: [RFxxx] – nome e descrição e serem descritos na seção requisitos funcionais.
* **Regras de negócio** devem ser identificadas por: [RNxxx] – nome e descrição e serem descritas na seção requisitos funcionais, subitem regras de negócio.
* **Requisitos não funcionais** devem ser identificados por: [RNFxxx] – nome e descrição e serem descritos na seção requisitos não funcionais.

Os requisitos devem ser identificados com um identificador único. A numeração inicia com o identificador [RF001], [RN001] ou [RNF001] e prossegue sendo incrementada à medida que forem surgindo novos requisitos ou regras.

Por convenção, a referência aos casos de uso é feita através do nome da subseção onde eles estão descritos, seguidos do identificador do caso de uso, de acordo com a especificação a seguir:

Casos de Uso devem ser identificados por: CSUXXX – nome a ser descrito na função modelagem funcional.

Os casos de uso devem ser identificados com um identificador único. A numeração inicia com o identificador CSU001 e prossegue sendo incrementada à medida que forem surgindo novos casos de uso.

### Requisitos Funcionais

Nesta seção são descritos os requisitos funcionais que especificam ações que um sistema deve ser capaz de executar, ou seja, os objetivos do sistema, incluindo prioridade e regras de negócio

**[RF001] – Importar dados da BMF**

**Descrição**: Este requisito permite que o sistema importe os preços de fechamento e os volumes ajustados por proventos da Bolsa de Valores do Brasil de uma ação específica e em um intervalo de datas específico.

**[RF002] – Gerenciar rede neural**

**Descrição**: Este requisito permite que o usuário gerencie uma RNA, sendo possível criar uma RNA (configurar a topologia, qual ação sera prevista, quantos dias precisa para prever o proximo) salvar essa rede localmente em um formato definido pelo framework Encog (.eg) e recuperara-la.

**[RF003] – Treinar rede neural**

**Descrição**: Este requisito permite que o usuário configure o ambiente de treinamento de uma RNA.

**[RF004] – Gerar comparativo entre os dados calculados pela rede e o real**

**Descrição**: O sistema deve gerar gráficos comparando os preços esperados e os calculados.

## Modelagem dos requisitos funcionais

Aqui descrevem-se os requisitos a serem atendidos funcionalmente pelo sistema de uma forma simples, possibilitando a compreensão do comportamento do sistema pela perspectiva do usuário. Devem ser descritos os atores e o diagrama de caso de uso.

### Atores

**USUARIO:** Representa alguém que utiliza o sistema.

**SISTEMA BMF:** Representa a integração com o WebService da BMF.

### Diagrama de caso de uso

Figura . Diagrama de caso de uso



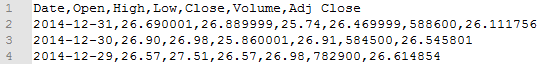
Fonte: Autor (2017)

### Especificação dos Casos de Uso

Nesta seçao e apresentado as especificacoes dos casos de uso. A especificacao, bla bla bla... (Fonte)

|  |  |
| --- | --- |
| **CSU001 – Importar Dados da BMF** | |
| Sumário: | Importar Dados da BMF |
| Ator Primário: | Sistema BMF |
| Casos de Uso Associados: CSU002 | |
| **Pré-condição:**   1. Conexão com a internet | |
| **Fluxo Principal**   1. O caso de uso inicia quando o sistema necessita das informações da BMF. 2. O sistema envia para a BMF o código da ação e o intervalo de datas. 3. O sistema da BMF retorna a data, o preço de abertura, o máximo, o mínimo, o de fechamento, o volume e o preço de fechamento ajustado por proventos. 4. O sistema extrai as informações da BMF. 5. O caso de uso termina. | |
| **Fluxo de Exceção (3) – Sem conexão com a internet**   1. O sistema informa que o usuário não possui uma conexão com a internet 2. O caso de uso termina. | |
| **Fluxo de Exceção (3) – BMF não possui dados**   1. O sistema informa que a BMF ainda não possui os dados 2. O caso de uso termina. | |
| **Pós-condições:**  **a.** O Sistema armazena os dados. | |
| **Requisitos:** RF001 | |
| **Regras de Negócio:** | |
| **Interface:** | |
| **Formato dos dados de importação:**  Figura 23 | |

Figura . Formato importação BMF

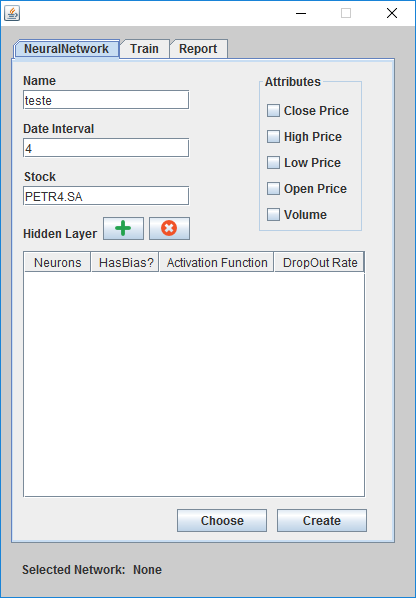


Fonte: Autor (2017)

Como é possível observar na Figura 23, os dados obtidos da BMF vêm em um formato csv. O sistema é responsável por extrair os dados deste arquivo.

|  |  |
| --- | --- |
| **CSU002 – Criar Rede Neural** | |
| Sumário: | Criar Rede Neural |
| Ator Primário: | Usuário |
| Casos de Uso Associados: | |
| **Pré-condição:** | |
| **Fluxo Principal**   1. O caso de uso inicia quando o usuário deseja criar uma RNA. 2. O Sistema solicita a quantidade de camadas, de neurônios por camada, função de ativação por camada, se tem ou não bias na camada, o *dropout* da camada, ação que a rede sabe prever, a quantidade de data necessária para gerar o próximo dado e o nome da rede. 3. O usuário informa os campos necessários. 4. O sistema avisa que a RNA foi criada com sucesso. 5. O caso de uso termina. | |
| **Fluxo alternativo (3) – RNA já existe**   1. O sistema informa que já existe uma rede com o nome digitado e pergunta se o usuário quer sobrescrever. 2. O usuário informa se quer sobrescrever. | |
| **Fluxo alternativo (3.1) – Usuário quer sobrescrever**   1. O usuário informa que quer sobrescrever 2. O sistema sobrescreve a RNA existente 3. O caso de uso termina | |
| **Fluxo alternativo (3.2) – Usuário não quer sobrescrever**   1. O usuário informa que não quer sobrescrever a RNA existente 2. O sistema exibe uma mensagem confirmando a opção do usuário, sem alterar a RNA existente. 3. O caso de uso termina | |
| **Fluxo de Exceção (3) – Informações incorretas**   1. O sistema informa que as informações preenchidas estão incorretas 2. O caso de uso termina. | |
| **Pós-condições:**  **a.** Rede Neural criada. | |
| **Requisitos:** RF002 | |
| **Regras de Negócio:** | |
| **Interface:** I001 | |

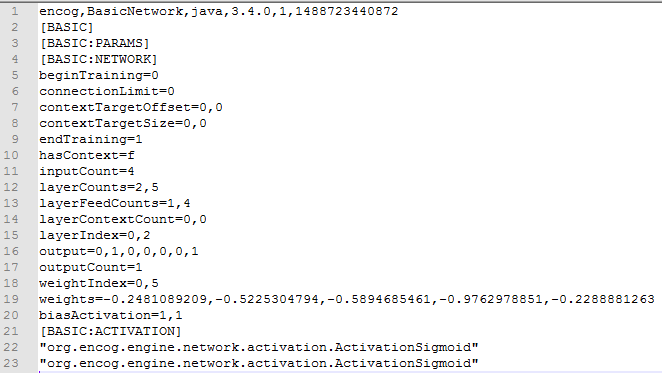
Figura . I001 – Gerenciar Rede Neural



Fonte: Autor (2017)

|  |  |
| --- | --- |
| **CSU003 – Escolher Rede Neural** | |
| Sumário: | Alterar RNA |
| Ator Primário: | Usuário |
| Casos de Uso Associados: CSU002 | |
| **Pré-condição:**  **a.** A RNA deverá ter sido criada anteriormente. (CSU002) | |
| **Fluxo Principal**   1. O caso de uso inicia quando o usuário deseja selecionar uma RNA 2. O Sistema solicita o nome da RNA. 3. O Usuário informa o nome da RNA. 4. O sistema pega as informações da RNA 5. O sistema exibe uma mensagem informando que a RNA foi carregada com sucesso. 6. O caso de uso termina | |
| **Fluxo de exceção (4): Rede não encontrada**   1. O sistema informa que não encontrou nenhuma RNA com o nome digitado 2. O caso de uso termina | |
| **Pós-condições:**  **a.** A RNA é carregada em memória**.** | |
| **Requisitos:** RF002. | |
| **Regras de Negócio:** | |
| **Interface:** I001 – Gerenciar Rede Neural | |
| **Formato dos dados de importação:**  Figura 25 | |

Figura . Formato importação RNA

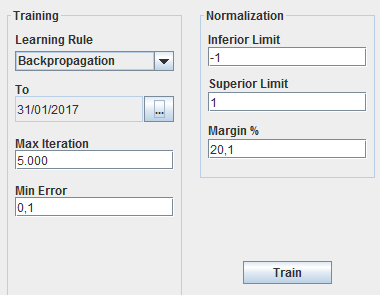


Fonte: Autor (2017)

A Figura 25 mostra o padrão de arquivo utilizado pelo framework da Encog, que é o formato eg, para salvar a RNA em um arquivo local.

|  |  |
| --- | --- |
| **CSU004 – Treinar Rede Neural** | |
| Sumário: | Treinar Rede |
| Ator Primário: | Usuário |
| Ator Secundário: | Sistema BMF |
| **Caso de Uso associado:** CSU001, CSU003. | |
| **Pré-condição:**   1. O Usuário deve ter selecionado uma RNA. (CSU003) 2. Deve haver conexão com a internet. | |
| **Fluxo Principal**   1. O Sistema solicita as datas ‘de’ e ‘para’, as regras de normalização (limite inferior e superior, e a margem), o algoritmo de aprendizagem, o número máximo de iterações e o erro máximo. 2. O Usuário informa os dados. 3. O Sistema envia puxa as informações do Sistema da BMF (CSU001) 4. O sistema elabora um gráfico da quantidade de iterações versus o erro 5. O sistema exibe uma mensagem avisando que a RNA foi treinada 6. O caso de uso termina. | |
| **Fluxo de Exceção (2) – Datas inválidas**   1. O Sistema informa que as datas escolhidas são inválidas 2. O caso de uso termina. | |
| **Pós-condições:**  **a.** A RNA é treinada. | |
| **Requisitos:** RF003. | |
| **Interface**: I002 | |

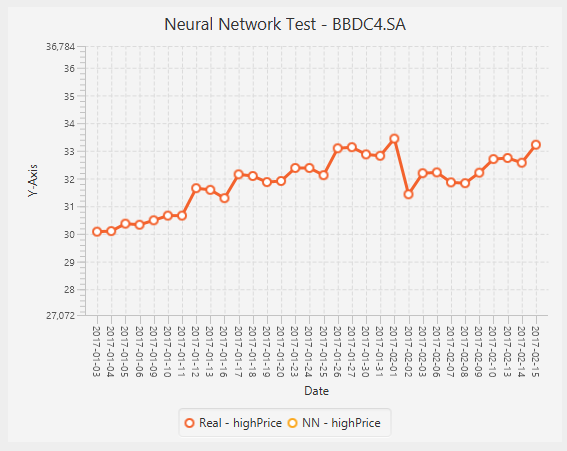
Figura . I002 - Treinar Rede Neural



Fonte: Autor (2017)

|  |  |
| --- | --- |
| **CSU005 – Gerar comparativo entre dados calculados pela RNA e os reais** | |
| Sumário: | Gerar relatório |
| Ator Primário: | Usuário |
| Ator Secundário: | Sistema BMF |
| **Caso de Uso associado:** CSU001, CSU003. | |
| **Pré-condição:**   1. O Usuário deve ter selecionado uma RNA. (CSU003) 2. Deve haver conexão com a internet. | |
| **Fluxo Principal**   1. O Sistema solicita as datas ‘de’ e ‘para’ e as informações de normalização (limite inferior e superior, e a margem) 2. O Usuário informa os dados. 3. O Sistema envia puxa as informações do Sistema da BMF. (CSU001) 4. O caso de uso termina. | |
| **Fluxo de Exceção (2) – Datas inválidas**   1. O Sistema informa que as datas escolhidas são inválidas 2. O caso de uso termina. | |
| **Pós-condições:**  **a.** O Sistema gera o gráfico. | |
| **Requisitos:** RF004. | |
| **Interface**: I003 | |

Figura . I003 - Gerar Relatório



Fonte: Autor (2017)

# Desenvolvimento do projeto

Este capítulo tem como objetivo analisar, detalhar e propor uma solução geral do sistema, sob o ponto de vista de negócio, de acordo com os requisitos levantados e validados no Capítulo anterior. Além disso, é apresentado o refinamento da proposta de solução geral do sistema, apresentando a solução técnica, incluindo a visão de projeto e implementação, a arquitetura e a tecnologia utilizada.

## Análise

Neste item deve ser apresentado o modelo do domínio, visão de negócio, que representa um primeiro modelo conceitual do diagrama de classes. Posteriormente, esse diagrama deve ser validado, refinado e complementado para compor o diagrama de classes de projeto.

### Diagrama de Classes de Análise (Visão de Negócio)

O diagrama de classes deve possuir todas as classes identificadas do sistema, deve conter os atributos e métodos de cada classe, e os relacionamentos entre elas. Na Figura 28 é apresentado o diagrama de classes.

Figura . Diagrama de Classes de negócio



Fonte: Autor (2017)

## Projeto

Neste item deve ser apresentada a arquitetura de infraestrutura do sistema, demonstrando o tipo de arquitetura que será utilizada a configuração de hardware, de rede, de software, padrões de projeto, componentes específicos e componentes externos a serem utilizados, bem como o dimensionamento mínimo de conexões.

### Arquitetura do Sistema

Para a representação da arquitetura de infraestrutura será apresentado o diagrama de implantação.

Figura . Diagrama de implantação



Fonte: Autor (2017)

### Diagrama de Classes de Projeto por Caso de Uso

Nesta sessão, serão demonstrados todos os diagramas de realização de caso de uso modelados.

Figura . Diagrama de classes de projeto – *Create NN*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de sequência - *Create NN*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de classes de projeto - *Choose NN*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de sequência - Choose NN



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de classes de projeto *- Import BMF Data*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de sequência *- Import BMF Data*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de classes de projeto - *Comparative Chart*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de sequência - *Comparative Chart*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de classes de projeto *- Train NN*



Fonte: Autor (2017)

Figura . Diagrama de sequência - *Train NN*



Fonte: Autor (2017)

# Detalhes de implementação.

Nesta sessão serão detalhados alguns detalhes que mereçam destaque sobre a implementação. Para que o sistema ficasse bem flexível para o usuário foram necessários alguns ajustes no algoritmo para que atendesse as exigências e especificações do mercado financeiro.

## Topologia

A rede neural deste trabalho deve ser capaz de prever preços futuros e, para que isso ocorra, ela deve usar os dados que ela mesma gerou. Como foi visto no item 2.3.1.1 e no item 2.3.2*,* a rede recorrente e a *feed-forward* com tempo incorporadoé utilizada em casos onde o tempo é um fator determinante. Por causa desses fatores, nesse trabalho foram utilizadas essas topologias de modo dinâmico, com a quantidade de neurônios na primeira camada sendo igual à quantidade de atributos multiplicada pelo *date interval* e na última camada somente a quantidade de atributos, sendo um neurônio para cada atributo escolhido pelo usuário.

Figura . Topologia da RNA utilizada



Fonte: Autor (2017)

A Figura 40 apresenta um esboço de como a rede utilizada está implementada de uma forma simples e fácil de entender, utilizando dois atributos e duas camadas ocultas, com 3 neurônios cada e com o *date interval* igual a 2. Cada círculo representa a abstração de um neurônio, e cada seta é uma ligação, ou sinapse. As figuras em vermelho representam o primeiro atributo, por exemplo, o preço de fechamento. As figuras em azul representam o segundo atributo, por exemplo, o preço máximo. As figuras pontilhadas representam as camadas ocultas.

Um detalhe interessante mostrado na Figura 40 é que, ao contrário de todas as ligações, onde cada neurônio se liga com todos os neurônios da camada seguinte, a sinapse entre a camada de saída se dá da seguinte forma: um neurônio só se liga com o outro neurônio que represente o mesmo atributo, já que a entrada do neurônio da camada de entrada vermelha é o preço de fechamento (para esse exemplo) e a saída do neurônio vermelho da camada de saída também é o preço de fechamento. O mesmo vale para o par em azul.

Também é possível notar como o fator tempo (*delay*) foi incorporado à rede. Os dados da camada de saída serão utilizados pelos da camada de entrada com um atraso. A quantidade de atraso máxima é igual ao *date interval*, ou seja, a primeira saída será utilizada na próxima iteração, a segunda na segunda, e assim por diante.

A topologia é dinâmica, pois enquanto a rede utiliza dados verdadeiros (externos) ela se comporta como *feed-forward*, como dá para ver no destaque em amarelo da Figura 40. Já quando utilizam os próprios dados, ela se comporta como uma rede recorrente.

Figura . Código implementação topologia



Fonte: Autor (2017)

Já no início do código da Figura 41 aparece um recurso muito utilizado no projeto, mas que será abordado em outra parte: o Javadoc. Conforme foi falado nos parágrafos anteriores, a camada de entrada será com a função de ativação *Linear*, com a quantidade de neurônios igual ao de atributos multiplicado pelo intervalo de dados.

## Função de ativação

Enquanto é possível ter a função de ativação por neurônio, como foi mostrado no item 3.6, no projeto implementado não foi possível fazer por neurônio, mas sim por camada.

Isso se deu já que o framework utilizado (Encog) não tinha suporte a função de ativação por neurônio, por causa do modo que foi implementado a abstração de um neurônio: ao invés de virar uma classe, como representado nos diagramas da sessão anterior, os neurônios eram abstraídos somente como pesos, por questão de desempenho na hora de realizar cálculos usando a CPU + GPU.

Para o projeto, nas camadas de entrada e saída foram utilizadas somente a função *ActivationLinear,* explicada no item 2.2.3, para que não haja interferência entre um dia e outro.

Figura . Código *Factory* função de ativação



Fonte: Autor (2017)

A Figura 42 apresenta o código utilizado na criação das funções de ativação, utilizado o padrão de projeto *Factory*. Este padrão é responsável por encapsular, simplificar e flexibilizar a criação e objetos concretos. Na Figura 41 o trecho de criação de uma camada utiliza a *factory* desta última figura. Nota-se a facilidade em criar vários tipos de funções de ativações em uma mesma linha de código.

Outro ponto de destaque é a utilização de “enum”, que serve para restringir e padronizar as constantes que são abordadas pelo código.

## Date Interval

Uma característica da rede aplicada ao mercado financeiro é poder escolher qual é o período de dados passados serão necessários para gerar um dia específico, a fim de diminuir os ruídos em um período de tempo muito pequeno. Na Figura 24. I001 – Gerenciar Rede Neural,Figura 24 é possível ver esse atributo representado como *Date Interval*. Para programar isso, foi necessário que os dados de entrada, para criar o relatório, fossem composto de dados puros (somente dados reais), dados mistos (dados reais e dados gerados) e somente dados gerados.

Figura . Ajuste *Date Interval*



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 43 é possível visualizar a explicação do parágrafo anterior. Cada retângulo representa um conjunto de dados de uma ação em um dia (qual ação é, o dia real e seus preços). Os retângulos em laranja mostram os dados obtidos da BMF, ou seja, os dados reais. Já os retângulos verdes mostram os dados calculados pela rede neural. O contorno em preto representa o conjunto de dado utilizado para gerar o próximo e seu tamanho é dado pelo *date interval* já explicado.

Utilizando i = *date interval*, percebemos que para gerar os dados de D+1 são necessários os dados de D+(1 - i) até D+0. Já para D+2, são necessários os dados de D-(2 - i) até D1. Desta forma percebemos um padrão: para calcular os dados de D+n, são necessários os dados de D+(n - i), até D+(n-1) sempre com o tamanho dos dados igual a i. Também podemos notar que são necessários i passos para que a fonte de dados seja formada só por elementos calculados.

Figura . Código *mixed data*



Fonte: Autor (2017)

Como visto anteriormente, o primeiro laço mostrado na Figura 44 é interagido até o valor de *dateInterval*, dentro dele terá um laço para adicionar os dados reais, outro para adicionar os dados calculados e um laço para calcular os valores de cada atributo e adicionar isso ao vetor contendo todos os dados.

Figura . Código *calculated data*



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 45 é possível ver o trecho do código que trata os dados calculados pela rede. Nota-se na primeira parte a inserção dos valores padrões, isso porque não existe ponteiro explícito em Java e, caso não criasse um “*new Data*”, o vetor seria completado com o mesmo dado, o que será explicado no próximo parágrafo. Além disso, nota-se a criação do *input* com base nos dados calculados e guardados no vetor *datas*, e depois a utilização desses dados para criar os valores do próximo dia. Ao final desse processo, os valores são retornados ao normal, por meio do método “*denormalizeDatas*”.

Figura . Código vetor de pessoa



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 46 é possível visualizar o que foi explicado anteriormente. Neste caso, como não foi criado um novo objeto do tipo *Person*, o que será guardado no vetor é a referência da memória para um mesmo objeto, logo, ao tentar mostrar na tela, ele mostrará o mesmo texto.

## Normalizador de dados

Para que uma rede entenda os dados de uma ação, é necessário que esses dados estejam em um formato aceitável. Esse assunto já foi abordado na sessão 2.5. Na Figura 45, ao final do código é chamado um normalizador (*normalizer*) para realizar essa tradução entre a “linguagem” da rede e da ação.

Figura . Código *normalize data*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 47 mostra como é feito para normalizar toda a série histórica. Antes de tudo, os valores máximos e mínimos são atualizados, depois para cada dado da série, e para cada atributo, normaliza o valor utilizando a Equação 8, já abordada anteriormente. Nota-se, também, uma nova forma de fazer um loop no Java 8: o *forEach*, que será explicado posteriormente.

Figura 48. Código *get max and min*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 48 mostra como é feito para obter os valores máximos e mínimos. Apesar de não ser a forma mais eficiente de obter esses valores extremos, dado que a complexidade de fazer a ordenação é de O (log (n)), enquanto procurar elemento a elemento pelo maior é linear, foi implementado dessa forma para utilizar os recursos do Java 8, já que o desempenho não é um fator essencial.

Figura . Código *getNormalizedValue*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 49 mostra como foi implementado a Equação 8. Um detalhe que foi utilizado é para quando a margem é igual a 1 (100%), o algoritmo faz um ajuste para que o valor fique igual a 1,001 (100,1%), pois se isso não ocorrer, o valor mínimo do ajuste, ao multiplicar o valor mínimo da série por (1 – *margin*), será 0 e poluirá o range verdadeiro.

## Javadoc

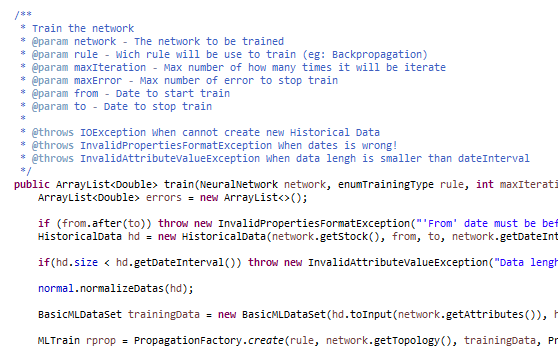
O javadoc é um recurso pouco explorado pelos desenvolvedores, mas muito útil. Ele é responsável por criar uma documentação completa sobre as classes, os métodos e os atributos de um projeto. É com base nele que a documentação mantida pela Oracle sobre o java está disponível aos usuários, como a documentação do javaSE, JDK, entre outros. Pode ser entendida também como uma espécie de contrato, ou manual, entre o usuário do código e o implementador.

Ao contrário do comentário de várias linhas (/\* ... \*/), o javadoc precisa de dois asteriscos no começo. A documentação é escrita em HTML e necessita estar declarada antes de uma classe, parâmetro, construtor ou método. É composta de duas partes: uma descrição e um bloco de *tags*.

Há algumas boas práticas para se escrever uma documentação, como o limite de 80 caracteres por linha, separar os parágrafos com a *tag* <p>, utilizar a terceira pessoa do singuar, entre outras.

As principais tags são: @author, @version, @param, @return, @exception, @see, @since e @deprecated.

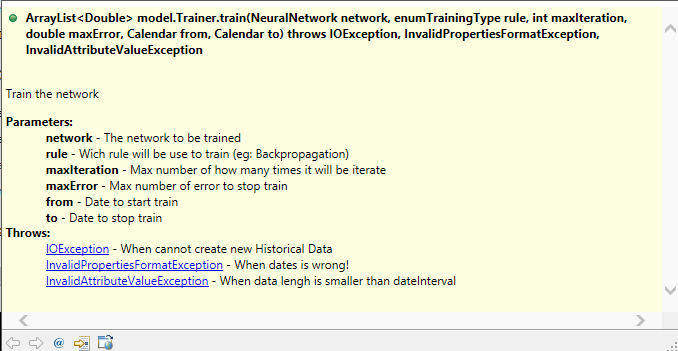
Figura Código exemplo Javadoc



Fonte: Autor (2017)

A Figura 50 mostra um exemplo de uma documentação para o método *train*. É possível observar que a primeira linha explica resumidamente qual é a função deste método, e nas demais linhas, aparece a *tag* “param”, que como o próprio nome diz, explica sobre os parâmetros do método. Nas últimas linhas, a *tag* “throws” mostra quais são os tipos de erro que esse método pode gerar, explicando em que caso que isso ocorre.

Figura . Resultado javadoc do método *train*



Fonte: Autor (2017)

A partir do momento em que a documentação está pronta, é possível observar, ao colocar o mouse em cima do método, que em algumas IDE’s mostra a documentação desse trecho do código, em um formato padronizado, como mostra a Figura 51.

### *Tag* @author

Ela é utilizada somente em classes e interfaces, é obrigatória e serve para indicar quem é o autor. Ela pode vir sozinha, acompanhada de várias outras *tags* @author ou sem nenhuma.

Não é uma *tag* crítica, já que não é incluída ao gerar uma especificação da API, e só é vista quando está com o código fonte.

### *Tag* @version

Ela também só é utilizada em classes e interfaces, também é obrigatória e indica a partir de qual versão do projeto o recurso a ser documentado foi disponibilizada.

É bastante útil em casos onde o controle de versão é um fator crítico, e indica em que versão o código em questão está. O documento pode contar várias *tags* de @version se fizer sentido.

### *Tag* @param

A *tag* @param só é utilizada para métodos e construtores e é composta pelo nome do parâmetro (e não o tipo de dado) seguida de uma descrição. É uma boa prática elencar os vários atributos na mesma ordem que está o método, mesmo isso não sendo obrigatório.

Por convenção, os nomes dos parâmetros são escritos em caixa baixa. O tipo de dado é escrito em minúsculo, para indicar um objeto, ao invés de uma classe. A descrição come

### *Tag* @return

A *tag* @return é utilizada somente em métodos onde o retorno é diferente de *void*, e indica qual é o retorno do método, e deve ser utilizada mesmo se o conteúdo for redundante.

Ter essa *tag* explícita faz com que se encontre o retorno do método mais rapidamente. É uma boa prática escrever qual é o intervalo de valores possíveis do retorno, se fizer sentido. Sempre que possível, encontre um caso não redundante, ou mais específico para usar.

### *Tag* @exception (@throws)

A *tag @*exception, ou @throws (a partir da Javadoc 1.2) indica qual é o tipo de *exception* que o método pode lançar, bem como uma descrição de quando isso ocorre.

É uma boa prática escrever múltiplas *tags* deste tipo em ordem alfabética. A ideia desta *tag* é indicar ao usuário do método quais são as exceções que ele deve tratar ao utilizar. Além disso, é uma boa prática não documentar exceções *uncheckeds*, ou seja, aqueles erros irrecuperáveis, como por exemplo, um *NullPointerException*.

### *Tag* @see

A *tag* @*see* é utilizada para fazer um link com alguma outra referência. Ela é valida para qualquer tipo de comentário, seja em um campo, um método, um construtor, uma interface, uma classe, um pacote, ou um *overview*.

Há três maneiras de se utilizar esta tag. A primeira é adicionar somente um texto, que indique um livro, ou outra informação que não tenha uma URL, exemplo @*see* “*Artificial Intelligence: a modern approach*”. A segunda é indicar a referência como se fosse em um HTML: @*see*<ahref=”URL#value”>texto</a>, neste caso ao clicar na palavra “texto”, será redirecionado para a *url* “URL” na sessão “*value*”. O último caso, que é o mais comum, é referenciar um item de uma classe: @*see* *String*#*equals*(*Object*) *equalsText*. Neste caso a classe é a “*String*”, no método “*equals*” e o que vai aparecer é o texto “*equalsText*”.

### *Tag* @since

A *tag* @since é muito útil para projetos que são amplamente utilizados e que sofrem atualizações constantes. Ela mostra desde quando o trecho do código em questão está disponível.

Um exemplo de utilização é nas novas funcionalidades do Java 8, neste caso elas estarão com a *tag* @since 1.8. É usual para as documentações da API do Android, para que o desenvolvedor saiba exatamente a partir de qual versão o recurso funcionará.

### *Tag* @deprecated

A *tag* @deprecated é utilizada para alertar aos usuários que o código foi descontinuado e o que utilizar no lugar. A primeira parte indica o que ficará no lugar e as subsequentes detalham o motivo.

Em IDE’s modernas, quando percebe o uso de códigos que foram descontinuados, geralmente aparece um aviso para alertar o desenvolvedor.

## Recursos do Java 8

Nesta sessão será apresentado alguns recursos que vieram com o Java 8 e outros que se tornaram mais fáceis de utilizar.

### Functional Programming

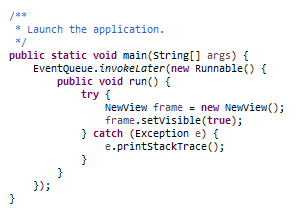
Antes de entrar em detalhes sobre os novos recursos, é preciso entender alguns conceitos e o primeiro deles é sobre a programação funcional. Programação funcional é um paradigma de programação na qual todo o programa é escrito como um conjunto de funções matemáticas, evitando estados ou dados mutáveis.

Para exemplificar de uma maneira mais fácil: se no paradigma de orientação a objeto uma função só pode receber objetos como parâmetro, nesse paradigma é possível aceitar outros métodos como parâmetro, ou até retornar outro método.

### Inner Class (Classes anônimas)

As classes anônimas são uma forma de contornar o que foi dito no parágrafo anterior. Elas são classes internas (escritas dentro de outra classe) que são utilizadas para herdar o comportamento, ou programar uma função, em apenas um local exclusivo.

Figura . Exemplo de *inner class*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 52 mostra um exemplo de *inner class*, onde é utilizada para criar uma classe somente nesse trecho do código para programar a interface *Runnable*, isto é, programar somente o método *run*() da classe *Thread*.

### Lambda

O lambda é uma sintaxe mais fácil para utilizar *inner class*. Ela abstrai o conceito de criar uma classe e depois criar um método, onde a ideia é somente ter um comportamento. Um exemplo muito utilizado é no comando dos botões usando o Swing do Java.

Figura . Diferença entre *inner class* e *lambda*

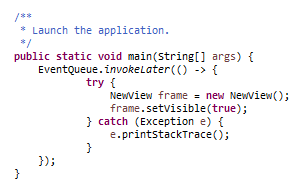


Fonte: Autor (2017)

Na Figura 53 é possível ver o comportamento do clique do botão (neste caso o que adiciona uma linha na tabela de camadas da rede neural, exemplificada na Figura 24. I001 – Gerenciar Rede Neural) implementado de duas formas diferentes.

No primeiro caso é criada uma *inner class* só para realizar duas operações simples. Nota-se a facilidade de entendimento que o lambda proporciona, e a diminuição de instruções para fazer a mesma coisa.

Figura . Implementação do *main* com *lamda*



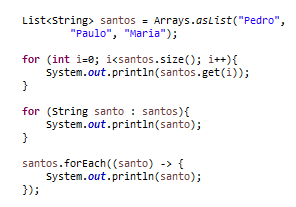
Fonte: Autor (2017)

Na parte da esquerda da função lambda, é passado os parâmetros da função, já na direita é a implementação propriamente dita. A Figura 54 é outra forma de programar o método mostrado anteriormente, e nota-se que quando o método implementado não possui parâmetros, usa-se o ‘ () ’.

### ForEach

O método *forEach* foi criado na interface *Iterable*<T> para realizar o for dentro de uma coleção, por exemplo. Ao invés de utilizarmos o for tradicional, ou até mesmo o *for* *each* convencional, temos essa outra opção.

Figura . Diferenças entre *for*



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 55 observa-se a diferença na sintaxe entre os tipos de laço for existente. A diferença maior é somente na sintaxe, pois sobre o desempenho, para esse exemplo praticamente é igual. Existe, claro, uma diferença no desempenho para o uso do método *forEach* (até porque não teriam criado se não tivesse) que é na utilização com paralelismo, mas será abordado posteriormente.

### Method Reference

O uso de expressos lambdas foi explicado anteriormente, mas em alguns casos, não o método não faz nada do que chamar outro método existente. Nesses casos, o uso de *method* *reference* permite que faça isso de maneira mais simples e fácil de entender.

Figura . Código *lambda* e *method* *reference*



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 56 contém um trecho que mostra na tela o nome de cada santo. Ambos os códigos fazem a mesma coisa, mas no segundo caso é muito mais fácil entender o que está acontecendo.

Figura . Código *compareByVolume*



Fonte: Autor (2017)

Se no caso anterior a sintaxe não pareceu tão convidativa, será apresentado um caso que a diferença é mais clara. Por se tratar de um objeto e não um tipo primitivo, para organizar uma lista de dados é preciso dizer à função *sort* como se ordena esse tipo específico. A Figura 57 mostra o método que especifica como se compara um dado, comparando o atributo volume dos dois parâmetros.

Figura . Código de ordenação



Fonte: Autor (2017)

Depois de especificado como se ordena um dado, é preciso agora ordená-lo. Existe algumas maneiras de fazer isso, e na Figura 58 é mostrado as três formas que foras explicadas.

### Stream

*Stream* é uma nova abstração para processar dados de uma forma mais amigável. Uma definição rápida de *stream* é: uma sequencia de elementos de um recurso que suporta operações agregadas (ORACLE, 2014). Existem dois tipos de *Stream*: linear e em paralelo.

#### Linear Stream

Se for necessário, por exemplo, calcular a média dos preços de fechamento da Petrobrás, mas somente nas datas que tiveram um volume expressivo, digamos acima 60.000.000 ações negociadas, entre 12 de janeiro e 24 de janeiro de 2017, como fazer? Primeiro é necessário filtrar todos os dias que tiveram volume maior que 60 milhões, depois extrair somente o preço de fechamento e, por fim, fazer uma média desses valores.

Como se pode perceber, apesar de ser uma tarefa simples, renderia várias linhas de código, mas como é possível fazer todas as operações usando o *Stream*?

Figura . Código exemplo *stream* – pegando dados



Fonte: Autor (2017)

Primeiro passo é extrair os dados da Petrobrás entre esse período. Na Figura 59 é mostrado o código de como extrair esses dados utilizando partes do código deste trabalho para facilitar essa extração, e depois mostrando na tela os resultados obtidos.

Figura . Exemplo código *stream* - sobrescrita *toString*



Fonte: Autor (2017)

Para que a última linha da figura anterior funcione, é necessário fazer uma sobrescrita do método “*toString*”, que é mostrado na Figura 60. A ideia é bem simples, mostrar todos os valores, sem se preocupar se existe ou não.

Figura . Saída do código de exemplo da *stream*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 61 apresenta o resultado do código mostrado na Figura 59. É possível notar que somente os atributos que eu declarei anteriormente estão sendo extraídos: *HighPrice, ClosePrice* e Volume. Apesar de no exemplo não precisar do preço máximo, foi atribuído a este *HistoricalData* esse atributo também, para futuramente mostrar uma outra funcionalidade do *Stream*.

Além disso, foi proposto ações com volume maior do que 60.000.000 ações para facilitar, pois desta lista, somente três datas superaram isso. Desta forma, calculando manualmente a média temos que a média dos preços de fechamento deverá ser (13,59 + 13,16 + 13,66 / 3 = 13,47).

Agora que os dados foram apresentados, é necessário fazer o filtro pelo volume, pegar somente os preços de fechamento e ainda fazer uma média sobre isso.

Figura . Código exemplo *stream*



Fonte: Autor (2017)

Com a Figura 62 percebemos a facilidade lógica e semântica que se ganha com o uso do *Stream*. É possível notar o padrão de projeto *Builder* e o *Fluent Interface*, responsáveis por essa leitura mais “fluente” e um código muito menos verboso.

O primeiro método chamado é o *stream()*, que retorna um *stream* contendo os elementos da coleção passada, no caso um *ArrayList* de *Data*.

O segundo método (*.filter*) , como o próprio nome sugere, faz um filtro, selecionando somente os valores que atendam a condição. Por baixo dos panos, é feito um *forEach*, como foi explicado anteriormente, percorrendo linearmente toda a *stream*, procurando a parte da direita da instrução que, necessariamente, deve retornar um *boolean*, mas isso tudo foi abstraído.

O terceiro método (*.mapToDouble*) serve para transformar esse conjunto de dados que foi filtrado em um *DoubleStream*, que é uma sequencia do tipo primitivo *double*, com alguns recursos extras, como suporte a operações agregadas sequenciais e paralelas, que será explicado posteriormente.

Após isso, no quarto esse método, é feita a operação de média com os valores encontrados. Esse método retorna um *OptionalDouble*, que é uma abstração que basicamente diz se foi encontrado um valor ou não, pois é possível não encontrar nenhum valor no *.filter* acima e, com isso, é impossível fazer uma média com a divisão por zero.

Por fim, é chamado o método *getAsDouble,* que tenta fazer a conversão de um *OptionalDouble* para um Double, podendo lançar uma *exception* quando o resultado é vazio, mas é possível verificar se existe com o método *.isPresent*.

Figura . Ilustração código stream



Fonte: Autor(2017)

A Figura 63 ilustra a sequencia dos passos realizados, explicada nos parágrafos anteriores de uma forma mais simples de entender.

#### *Parallel Stream*

Como foi dito anteriormente, uma das maiores sacadas da nova atualização é a comodidade em utilizar o paralelismo. Uma das formas encontradas foi utilizar a nova abstração do *Stream* e implementar uma *Parallel Stream*, que é uma diferenciação por implementar conceitos de paralelismo por baixo dos panos, como concorrência de *threads*, *threadPool*, *executorService*, sincronismo, entre outros.

Desta forma, o paralelismo é implementado de forma implícita, isto é, quando o programador não explicita o paralelismo por meio de comandos. Dada a explicação, como ficaria a implementação de um Parallel Stream, será que muita coisa muda? É muito mais complexo?

Figura . Código *stream* com paralelismo



Fonte: Autor (2017)

De fato, a resposta das duas perguntas acima é não. Como mostra a Figura 64, só foi necessária a troca do primeiro método, ou seja, ao invés de chamar um *stream* sequencial, chama-se um *parallel stream*. No caso exemplificado não é tão fácil notar a diferença, visto que o resultado será o mesmo e os dados a serem processados são bem pequenos, então não terá uma melhora tão grande no desempenho.

Figura . Código exemplo paralelismo



Fonte: Autor (2017)

Para mostrar as diferenças citadas no parágrafo anterior, a Figura 65 mostra um código simples de popular uma lista com valores de 1 a 10, e em seguida lista-los, mas de duas formas: a primeira sequencialmente e a segunda com o paralelismo.

Figura . Saída código exemplo paralelismo



Fonte: Autor (2017)

A Figura 66 mostra a saída dos três laços. É possível perceber que no primeiro caso, como era de se esperar, os números são exibidos de forma sequencial, e nos dois outros não. Além disso, nos dois últimos casos a lista não é exibida na mesma ordem, mesmo sendo chamada da mesma forma.

É importante deixar claro que o paralelismo implementado utiliza um mecanismo de ­*fork-join­ ­*para o *pool* de *thread* e, neste caso, se uma das instruções for uma tarefa que tenha um tempo de execução longa, ela irá bloquear todos os threads do *pool*, consequentemente, irá todas as outras tarefas que utilizam *parallel streams*. Por exemplo, em uma das ações é uma execução rápida na CPU e outra é um cálculo complexo de um número primo com mais de 10.000 dígitos. Enquanto esta última não acabar, a primeira soma não será desbloqueada, portanto, é uma boa prática utilizar para tarefas que o tempo de execução tende a ser similar.

Figura . Código updateMaxMin



Fonte: Autor (2017)

A Figura 67 apresenta o mesmo código da Figura 48, mas com o uso do *Parallel Stream*. Para que o *Stream* possa ser usado em mais de uma operação final (será visto no próximo item), é necessário criar um *SummaryStatistics*, que é um objeto que já contém os valores máximo, mínimo, média e soma de um *Stream*. Em seu construtor, ele faz uma varredura linear por toda a coleção e encontra esses valores e armazena em seus atributos, sendo muito útil quando se quer pegar mais de uma dessas informações, ao invés de ter que refazer todos os passos e aumentar, deste modo, a complexidade do código.

Na primeira linha é convertido a lista dos dados em um *parallelStream* chamado *stream*. Depois disso, vem um laço para cada atributo, que o usuário selecionou para a rede cobrir, converte para um *DoubleStream* e depois para *SummaryStatistics*. Com isso, se pega o máximo e mínimo de cada atributo e armazena em uma coleção com o máximo de todos os atributos (exceto o volume), e em outra coleção com o mínimo de cada atributo, e, por fim, retorna o máximo dos máximos, e o mínimo dos mínimos. O volume é diferente por se tratar de outro tipo de dado, ele não é, que nem os outros, referente ao preço de uma ação, portanto sua ‘base’ será completamente diferente.

#### Tipos de operações do *Stream*

O *Stream* possui dois tipos de operações: Intermediárias e Terminais. As operações intermediárias são as que são implementadas no padrão *Builder* e retorna uma classe que implemente uma *Stream*, ou seja, pode-se encadear quantas operações do tipo intermediárias quiser, desde que faça sentido para a aplicação. Exemplos dessas operações são: filter(), mapToInt(), mapToDouble().

O outro tipo, terminal, são as operações que retornam um valor ou um objeto. Após ser invocada, não é possível realizar outras operações, nem intermediárias nem finais. Exemplos de operações desse tipo são o forEach(), sum(), min(), max(), findFirst().

# Resultados Obtidos

Foi obtido como resultado deste trabalho, um software para criação de RNA com o foco na previsão de dados relevantes para o mercado financeiro.

A seguir será apresentada a sequência de passos que podem ser tomados pelo usuário do sistema.

## Criar RNA

Ao abrir o sistema, a primeira tela será a de escolha da RNA.

Figura . Interface 1 - *initial*



Fonte: Autor (2017)

É possível perceber que na Figura 68 todos os campos estão vazios, exceto o *Date Interval*, que é uma sugestão. No rodapé da imagem, é apresentado qual é a RNA escolhida no momento, como o programa acabou de ser iniciado ainda não tem nenhuma RNA escolhida. Se o ponteiro do mouse ficar em cima da aba *NeuralNetwork* por alguns segundos, aparecerá uma dica do que se trata a aba.

Figura . Interface 1 - *error*



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 69 é possível notar no centro da tela o erro que aparece se for clicado no botão *Create*. Como não tem o nome, nem o *Stock*, nem os atributos, um erro é mostrado para que o usuário complete os campos com dados válidos.

Figura . Interface 1 – *success*



Fonte: Autor (2017)

Se o usuário colocar dados válidos e clicar no botão *Create*, é apresentada uma mensagem dizendo que a rede foi criada com sucesso, como mostra a Figura 70. Mesmo sem adicionar nenhuma camada oculta é possível criar a rede e, no caso, só terá duas camadas verdadeiras: a inicial (ou de entrada) e a final (ou de saída).

Figura 71. Interface 1 - *add hidden layer*



Fonte: Autor (2017)

Se o usuário clicar no botão “+”, será adicionado uma linha na tabela das camadas ocultas, com uma sugestão de camada: três neurônios, contendo bias, função de ativação *ElliottSymmetric* e com 0,3 de *dropOutRate*, como mostra a Figura 71.

Figura 72. Interface 1 - *activation functions*



Fonte: Autor (2017)

Na Figura 72 é possível ver o que acontece ao clicar na função de ativação, são mostradas todas as funções de ativação que o sistema suporta como foi explicado anteriormente no capítulo 2.2. Se clicar no botão “X”, é apagado a linha selecionada, e se não tiver nenhuma selecionada, apaga a última linha.

Figura 73. Interface 1 – *overwrite*



Fonte: Autor (2017)

Se o botão *Create* for clicado novamente, é apresentada uma mensagem alertando ao usuário que já existe uma rede criada com o mesmo nome, e se ele deseja sobrescrever a rede existente. É importante notar que, apesar de um dos requisitos não funcionais especificarem que todo o texto deverá ser em inglês, neste caso os botões são apresentados no idioma do sistema operacional em que o usuário está executando o programa.

Figura . Interface 1 – *don’t overwrite*



Fonte: Autor (2017)

Caso o usuário clique no botão de negação, “Não” no caso, a mensagem deixará de ser exibida e aparecerá outra mensagem, como mostra a Figura 72. Caso o usuário clique no de afirmação, “Sim” no caso, é feita uma sobrescrita na RNA já criada, mesmo que nenhum detalhe for mudado. Isso acontece pois cada vez que uma rede é criada (neste caso recriada), os neurônios são criados com pesos aleatórios. Essa parte é importante no caso de a rede sofrer algum tipo de *overtraining* durante o treinamento e ter sua capacidade de predição comprometida. Se acontecer, basta manter a topologia criada e forçar uma sobrescrita da rede, para alterar os pesos dos neurônios.

Também é possível notar que após a rede criada, por padrão, o programa já a seleciona e no rodapé da tela é mostrado ao usuário que a rede selecionada é essa já criada.

## Escolher RNA

Nesta etapa existem somente duas coisas que podem acontecer, ou a rede não existe ou existe.

Figura . Interface 1 *- NN don't exists*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 73 apresenta o primeiro caso: se não existe. Quando o programa tenta procurar por uma rede com um nome de uma rede inexistente, apresenta uma mensagem alertando que não pode ser carregada, e que o arquivo não existe. Repare que foram desmarcados todos os atributos e apagado qual é o *Stock* da rede, para que se note o preenchimento dos campos corretos.

Figura . Interface 1 - *NN loaded*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 74 mostra o que acontece quando o usuário tenta escolher uma rede existente. Além de aparecer a mensagem informando que a rede foi carregada, os dados dessa rede são preenchidos na tela, para que o processo de identificação das características da rede seja facilitado.

## Treinar RNA

Passado o passo de criar e escolher uma RNA, o usuário pode querer treinar sua rede. Para isso basta clicar na aba “*Train*”.

Figura . Interface 2 – initial



Fonte: Autor (2017)

A Figura 77 mostra o que aparece ao clicar pela primeira vez na aba *Train* durante a execução do programa. Nesta etapa, são vários os erros que podem acontecer, e eles serão apresentados. São apresentados alguns valores de sugestão, para que um usuário sem conhecimento em redes neurais possa interagir com o sistema e perceber como uma RNA se comporta. Se o ponteiro do mouse ficar em cima da aba *Train* por alguns segundos, aparecerá uma dica do que se trata a aba.

Figura . Interface 2 - *null dates*



Fonte: Autor (2017)

Se clicar no botão *Train* sem ter escolhido as datas, é apresentada uma mensagem solicitando ao usuário escolher as datas, como mostra a Figura 78.

Figura . Interface 2 - *null NN*



Fonte: Autor (2017)

Caso o usuário tenha acessado a essa aba já no início do programa, sem ter escolhido uma RNA ainda, o erro apresentado é o mostrado pela Figura 79, solicitando ao usuário escolher uma RNA antes de prosseguir.

Figura . Interface 2 - *Learning Rules*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 80 mostra todas as opções de algoritmos de aprendizagem disponível no programa. Esses algoritmos já foram tratados em outra parte deste trabalho, quando foi apresentado sobre aprendizagem e seus algoritmos, presente na sessão 2.4.

Figura . Interface 2 – *dates*



Fonte: Autor (2017)

Quando o botão “...”, presente ao lado de cada data, é clicado, é apresentado ao usuário uma interface intuitiva de um calendário, conforme mostra a Figura 81. Nessa interface, é possível navegar com facilidade entre os meses, os anos, e as datas. Nota-se que os textos são apresentados conforme o idioma do sistema operacional em que o programa está sendo executado.

Figura . Interface 2 - *from after to*



Fonte: Autor (2017)

Caso o usuário se confunda e tente inserir a data de partida como depois da data final, é apresentada uma mensagem alertando-o disso, como mostra a Figura 82. Não foi invertido automaticamente as datas, contornando o erro, portanto, pois se o usuário realmente queria essa data, mas de um ano anterior, e apenas se confundiu na hora de selecionar o ano, a rede não treine com dados que não desejados.

Figura 83. Interface 2 - *don't have data form selected date*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 83 apresenta o erro que aparece quando o usuário tenta selecionar datas que ainda não existem dados disponíveis, no caso foi selecionado em 2017 dados de negociações feitas em 2018.

Figura . Interface 2 – *trained*



Fonte: Autor (2017)

Se o usuário digitar todos os valores corretos e clicar no botão *Train*, a rede é treinada e aparece uma mensagem informando isso, como mostra a Figura 84. Além disso, é apresentado um gráfico que mostra como foi a evolução do erro desta RNA para o intervalo de data por cada interação (*epoch*).

É possível notar, como era o esperado, que a rede tende a diminuir seu erro a cada iteração, pois é quando o algoritmo de aprendizagem age e vai corrigindo aos poucos.

## Gerar Relatório

Depois de selecionado a RNA, é possível gerar um gráfico comparando os dados calculados pela rede e os reais, mesmo sem ter treinado essa rede antes.

Figura . Interface 3 – *initial*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 85 mostra a tela em questão, quando aberta assim que o aplicativo inicie, ou seja, sem ter selecionado uma RNA. Se o ponteiro do mouse ficar em cima da aba *Report* por alguns segundos, aparecerá uma dica do que se trata a aba, assim como as outras telas.

Figura . Interface 3 - *null NN*



Fonte: Autor (2017)

Assim como no caso do treinamento, se o usuário tentar criar um relatório sem ter selecionado a RNA, será apresentado o erro mostrado na Figura 86, alertando-o que é necessário escolher uma RNA antes.

Também como no caso do treinamento, todos os erros que envolvem as datas aparecem aqui também, inclusive com a mesma mensagem e mesmo título. Sendo assim, será apresentado somente o relatório com todos os passos válidos, sem qualquer erro.

Figura . Interface 3 - *report created*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 87 mostra o que acontece quando os dados estão corretos e o botão *Create Report* recebe um clique. O sistema gera o gráfico comparativo entre os dados reais e os dados criados pela rede neural.

Figura . Interface 3 - *report with 2 attributes*



Fonte: Autor (2017)

A Figura 88 mostra o mesmo relatório, mas com a rede configurada para mais de um atributo. Nota-se que é criada uma linha para cada atributo real, e uma linha para cada atributo calculado pela Rede, para que seja possível comparar atributo a atributo.

# Considerações Finais

## Conclusão

O objetivo deste trabalho foi criar um software capaz de criar uma RNA com o foco no mercado de ações, abrangendo desde a criação da topologia da RNA, passando pela extração de dados das bolsas de valores, até a criação de um relatório que mostre a eficácia da IA na predição.

O primeiro passo do trabalho foi identificar, por meio de estudos e pesquisa, os principais conceitos sobre IA, topologias diversas e as capacidades e limitações de uma RNA. Paralelamente a isso, também foi necessário a pesquisa do mercado financeiro, desde conceitos fundamentais de economia e matemática financeira, até estratégias de investimento.

O segundo passo foi necessário identificar quais conceitos de uma RNA poderiam ser utilizados para usuários do mercado financeiro, bem como descobrir como isso é feito atualmente. Foi constatado que em nenhum dos softwares disponíveis tem abrange esses dois temas. Com isso, elaborar um comparativo entre os softwares disponíveis mais importantes, fez sentido tanto para elencar quais são os melhores, quanto para descobrir o que seria desejável um sistema nesta área. Para validar as configurações utilizadas foi conversado com analistas de uma gestora de fundos de investimentos sobre quais campos seriam necessários, qual seria uma visualização importante ter, entre outros detalhes.

Após a validação dos especialistas, o próximo foi encontrar um framework em Java que auxilie na criação da RNA, pois era onde o conhecimento deveria ser mais profundo. A linguagem foi Java para poder usar e testar os novos recursos do Java 8. O Framework utilizado foi o Encog por vários motivos: código aberto, suporte a multithread, uso de CPU + GPU, muito bem documentado e com alguns exemplos.

Com o programa já programado e funcionando, a capacidade em prever preços se mostrou bastante eficaz, mas a maior limitação é a configuração da rede, devido a complexidade. Foi importante ver na prática os conceitos como a RNA tende a melhorar suas predições com o treinamento e como o treinamento em excesso compromete a capacidade da rede.

## Trabalhos futuros

Em relação a trabalhos futuros, este trabalho fornece algumas das melhorias que poderiam ser feitas:

### Gráfico

Foi utilizado o Java FX para fazer os gráficos, mas se provou um framework muito ruim e com a aparência ruim também. Seja pela quantidade de código necessário para fazer um gráfico simples ou pela dificuldade em mostrar os valores ao passar o mouse em cima do gráfico.

Utilizar alguma biblioteca mais potente, ou de alguma forma gerar uma página da web e utilizar bibliotecas em JS que fazem esse trabalho como, por exemplo, o AmCharts.

Outra melhoria interessante é deixar o volume como um eixo secundário no gráfico, para não poluir.

### Comparativo entre outras RNA

Uma maneira para se comparar desempenho de várias RNAs que fazem a mesma coisa seria uma implementação muito importante para o trabalho, para testar mais rapidamente como cada ajuste interfere no comportamento da rede.

Além disso, um sistema de elencar as redes mais eficazes por algum tipo classificação ou de ordenação pode ser uma forma de encontrar as redes mais adequadas para cada tipo de arquivo.

### Base de dados

Atualmente o sistema de base de dados é voltado somente para o mercado financeiro e há uma dependência com o YahooFinance e se, por algum motivo, eles descontinuarem o serviço, a aplicação precisará de alguns ajustes. Ter mais de uma fonte de dados pode ser um recurso bastante útil como, por exemplo, o Google Finance.

Outros tipos de dados temporais também podem se mostrar úteis, como dados mais gerais sobre países, meteorologia, ou qualquer outro tipo. Para os dados de países, principalmente dos estados unidos, recomendo o FRED (<https://fred.stlouisfed.org/>). Por lá é possível obter desde evolução do desemprego, até evolução da dívida com escolaridade em universidades públicas.

### Outros relatórios

Além do comparativo entre o que a rede previu e o que foi realizado, é possível ter outras visões. Uma visão bem interessante seria gerenciar uma carteira fictícia, no qual se a rede acha que o preço vai subir em D+1, poderia ter uma regra de comprar um pouco em D+0, e se realmente subir em D+1 vender essas ações. Com isso é possível ter uma “cota”, como o que acontece com fundos de investimentos para essa rede. E a cada dia, ela vai atualizando sua base de aprendizagem com novos dados.

Outra visão, mais fácil de fazer, é avaliar o acerto das tendências. Se a rede prevê uma tendência de alta de 5%, por exemplo, e sobe só 3%, apesar de ter errado o valor, acertou a tendência e isso já é muito valorizado no mercado financeiro.

### Layout

Como o foco do trabalho foi nos algoritmos e na construção da parte “por baixo dos panos”, a parte visual e de interface poderiam ser melhoradas. Apesar de o sistema possuir poucas iterações com o usuário, telas simples e auto explicáveis, o esquema de cores, bordas e posicionamento não são muito agradáveis.

Outra funcionalidade que poderia ter é buscar as redes por meio de uma interface gráfica, e não somente pelo nome da rede. Com isso, já seria possível armazenar a rede em qualquer lugar, e usá-la sem maiores problemas, inclusive se a rede estivesse na “nuvem”, daria para programar alguma forma de consumir essa rede pela internet.

# Bibliografia

BARCHART. Stocks - Performance. **Barchart**, 2016. Disponivel em: <http://www.barchart.com/stocks/performance/5day.php>. Acesso em: 10 Outubro 2016.

BROWNLEE, J. How to Normalize and Standardize Your Machine Learning Data in Weka. **Machine Learning Mastery**, 2016. Disponivel em: <http://machinelearningmastery.com/normalize-standardize-machine-learning-data-weka/>. Acesso em: 2 November 2016.

CHABOUD, A. P. et al. Rise of the machines: Algorithmic trading in the foreign exchange market. **The Journal of Finance**, v. 69, n. 5, p. 2045-2084, 2014.

CHAUVIN, Y.; RUMELHART, D. E. **Backpropagation:** theory, architectures, and applications. New Jersey: Psychology Press, 1995.

CHERMAN, E. A.; TSOUMAKAS, G.; MONARD, M. C. Active Learning Algorithms for Multi-label Data. **Artificial Intelligence Applications and Innovations: 12th IFIP WG 12.5 International Conference and Workshops**, Greece, 16-18 September 2016. 267-279.

CONNOR, J. T.; MARTIN, D.; ATLAS, L. E. Recurrent Neural Networks and Robust Time Series Prediction. **IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS,** v. 5, n. 2, p. 240-254, Março 1994.

DEMUTH, H.; BEALE, M. **Neural Network Toolbox:** for use with Matlab. 4. ed. Natick: MathWorks, 2003. Disponivel em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/graduacao/rn-2016.1/RN-5b%20-%20Redes%20Neurais%20no%20Matlab.pdf>.

DO CARMO ROQUE, R.; DE MELLO, F. L. Estudo sobre a empregabilidade da previsão do índice BOVESPA usando Redes Neurais Artificiais, 2009.

FAHLMAN, S. E. An empirical study of learning speed in back-propagation networks. **Carnegie Mellon University: Research Showcase**, 1988.

FORTUNA, E. **Mercado Financeiro:** produtos e serviços. 11ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2008.

HAYKIN, S. **FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS:** AN INTRODUCTION. [S.l.]: [s.n.], 1998.

HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. Third Edition. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2009.

HEATON RESERACH. Javadoc Encog 3.3, 2014. Disponivel em: <http://heatonresearch-site.s3-website-us-east-1.amazonaws.com/javadoc/encog-3.3/org/encog/package-summary.html>. Acesso em: 1 Outubro 2016.

HEATON, J. **Programming Neural Networks with Encog3 in Java**. St. Louis: Heaton Research, 2011.

HENDERSHOTT, T.; JONES, C. M.; MENKVELD, A. J. Does algorithmic trading improve liquidity? **The Journal of Finance**, v. 66, n. 1, p. 1-33, 2011.

IBM. IBM 100 - Deep Blue. **IBM - Icons of Progress**, 2011. Disponivel em: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/deepblue/>. Acesso em: 22 Outubro 2016.

KATHLEEN, C.; KOMAKI, I. How This Hedge Fund Robot Outsmarted Its Human Master. **Bloomberg News**, 2016. Disponivel em: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-08-21/hedge-fund-robot-outsmarts-human-master-as-ai-passes-brexit-test>. Acesso em: 22 Outubro 2016.

KIMOTO, T. et al. Stock Market Prediction System with Modular Neural Networks. **1990 IJCNN International Joint Conference on**, Junho 1990. 1-6.

KRIEGER, P. E. Uso de redes neurais artificiais para predição da bolsa de valores, Itajaí, 2012. 91 folhas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

MANTOVANI, W. A. **Utilização de Redes Neurais Recorrentes na Caracterização de Cargas Não Lineares em Sistemas Elétricos**. Ilha Solteira. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

MARKOWITZ, H. Portfolio Selection. **The Journal of Finance**, 7, n. 1, Março 1952. 77-91.

MATHWORKS. Matlab. **MathWorks Products**. Disponivel em: <https://www.mathworks.com/products/matlab>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. H. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **The bulletin of mathematical biophysics**, v. 5, n. 4, p. 115-133, 1943.

MICROSOFT. Getting Started with VBA in Office 2010. **Documentation Office 2010**, 2009. Disponivel em: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/office/ee814735(v=office.14).aspx>. Acesso em: 31 Outubro 2016.

MICROSOFT. Produtos Office: Excel. **Produtos Office**, 2016. Disponivel em: <https://products.office.com/pt-BR/excel#>. Acesso em: 31 Outubro 2016.

MØLLER, M. F. A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning. **Neural networks**, v. 6, n. 4, p. 525-533, 1993.

MONARD, M. C.; BARANAUSKAS, J. A. **Sistemas Inteligentes:** Fundamentos e Aplicações. [S.l.]: Manole Ltda, 2003.

NEUROFURG. Uma ferramenta de apoio ao ensino de Redes Neurais Artificiais. **NeuroFURG**, 2011. Disponivel em: <http://neurofurg.sourceforge.net/>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

NEUROPH. Neuroph Studio JavaDoc. **Neuroph Studio**, 2014. Disponivel em: <http://neuroph.sourceforge.net/javadoc/index.html>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

NEUROPH. Neuroph v2.92. **Neuroph**. Disponivel em: <http://neuroph.sourceforge.net/>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

NUMERAI. About: Numerai. **Numerai web site**, 2016. Disponivel em: <https://numer.ai/about>. Acesso em: 16 November 2016.

OLIVEIRA, M. A. **Aplicação de redes neurais artificiais na análise de séries temporais econômico-financeiras**. São Paulo, p. 316 folhas. 2007. Tese (Doutorado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

ORACLE. Articles. **Oracle Tech Network Articles**, 2014. Disponivel em: <http://www.oracle.com/technetwork/articles/java/ma14-java-se-8-streams-2177646.html>. Acesso em: 11 Abril 2017.

REFENES, A. N.; ZAPRANIS, A.; FRANCIS, G. Stock performance modeling using neural networks: A comparative study with regression models. **Neural Networks**, Oxford, 7, n. 2, 1994. 375-388.

RIEDMILLER, M.; BRAUN, H. A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm. **Neural Networks, 1993., IEEE International Conference On.**, 1993. 586-591.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence:** a modern approach. 3ª. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005.

SRIVASTAVA, N. et al. Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. **Journal of Machine Learning Research**, v. 15, n. 1, p. 1929-1958, 2014.

TAFNER, M. A. Redes Neurais Artificiais: Aprendizado e Plasticidade, 1998. Disponivel em: <http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/rna.htm#neuronio>. Acesso em: 25 Setembro 2016.

THOMAZ, C. E.; VELLASCO, M. M. B. R. Análise de Tendências de Mercado por Redes Neurais Artificiais. **7º CBRN – Congresso Brasileiro de Redes Neurais**, Natal, 2005.

TURING, A. M. Computing machinery and intelligence. **Mind**, v. 59, n. 236, p. 433-460, 1950.

UNIVERSITY OF WAIKATO. Weka 3: Data Mining Software in Java. **Weka**. Disponivel em: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/documentation.html>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

VON ZUBEN, F. J.; ATTUX, R. R. F. Redes Neurais Artificiais – Parte I, 2010. Disponivel em: <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/vonzuben/ia004\_1s10/notas\_de\_aula/topico1\_IA004\_1s10\_Parte1.pdf>. Acesso em: 25 Setembro 2016.

WEKA. Class MultilayerPerceptron. **Weka Documentation**. Disponivel em: <http://weka.sourceforge.net/doc.stable/weka/classifiers/functions/MultilayerPerceptron.html>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

WINRICH, B. **Training and Source Code Generation for Artificial Neural Networks**. Rhode Island. 2015. Tese de Doutorado (Master of Science in Computer Science). University of Rhode Island.