

REUDES NEURAIIS: UM CONCEITO PARA MATEMÁTICA INDUSTRIAL

Ana Cintia Brandao dos Santos¹
Gilmar Alves de Farias²

1. INTRODUÇÃO

É perceptível a mudança no estilo de vida nos últimos anos, sendo uma das principais causas dessa modificação a crescente evolução da informática no cotidiano. O avanço da tecnologia vem cada vez mais influenciando seu uso nas mais diversas áreas de atuação devido a constantes melhorias em qualidade e desempenho, com equipamentos cada vez menores e mais acessíveis ao grande público. Essa evolução acelerada da informática motiva cada vez mais a comunidade científica a intensificar seus estudos na área, o que, conseqüentemente, ajuda na evolução da própria informática e de seu papel como ferramenta de auxílio para as demais ciências. Pode-se perceber, atualmente, a informática contribuindo para o desenvolvimento científico em praticamente todas as áreas do conhecimento.

Nota-se que cada vez mais a informática se apropria de uma área de estudos e a utiliza como ferramenta, percebendo a criação de novas ideias e propostas. Um exemplo desta interação é a técnica de redes neurais artificiais, que se fundamenta nas teorias que se conhecem a

1 Ana Cintia Brandão dos Santos- Graduanda em Pedagogia pela Faculdade de Educação - FACED da Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: anabrandao100@gmail.com.

2 Gilmar Alves de Farias- Professor da Universidade Federal do Ceará-UFC. Fortaleza - CE. E-mail: profgilfarias@hotmail.com

respeito dos neurônios do cérebro humano, objetivando a reprodução de comportamentos computacionalmente inteligentes, como por exemplo, o reconhecimento de padrões. Além disso, geram-se novas profissões para o mercado de trabalho como o matemático industrial que utiliza os conceitos matemáticos entrelaçados a outros ramos do conhecimento humano, como a informática. A utilização de computadores como ferramenta de auxílio à tomada de decisões encontra na matemática industrial uma de suas principais áreas de aplicação, por exemplo na bioinformática, utilizando otimização, redes neurais, modelos de Markov, sistemas dinâmicos e análise de processos cerebrais com a utilização de *wavelets* e computação paralela. Esses sistemas têm como principal objetivo auxiliar o profissional da área no processo da tomada de decisões, o que pode ocorrer em diferentes etapas de sua atividade.

O objetivo deste trabalho foi apresentar o conceito de redes neurais na área de matemática Industrial, com o intuito principal de se verificar a validade da utilização da técnica de redes neurais artificiais para esse fim. Na busca por um sistema de controle compatível com a complexidade da maioria dos processos industriais, várias pesquisas têm sido elaboradas de acordo com o desenvolvimento de novas ferramentas e tecnologias.

Neste sentido, o uso de Redes Neurais Artificiais (RNAs) torna-se cada vez mais uma opção atrativa, haja vista a atual ampliação da capacidade computacional. Este desenvolvimento foi iniciado com a definição de matemática industrial e onde se aplicaria sua relação com redes neurais, percebendo sua aplicação no campo da bioinformática para otimização, análise de precisão e segurança em diversas áreas, como na medicina no apoio ao processo de diagnóstico de lesões pulmonares.

O desenvolvimento prático do trabalho consistiu em duas etapas principais: a) definir e descrever as atividades de um matemático industrial; b) definir as redes neurais artificiais, bem como sua utilização na área mencionada. No primeiro capítulo são feitas algumas definições de matemática industrial bem como sua área de atuação, mostrando como é o curso e suas áreas ofertadas pelas instituições de ensino. O Capítulo 2 é dedicado às redes neurais artificiais, mostrando o conceito e como

funciona sua aplicação. No Capítulo 3, é feita uma revisão dos objetivos básicos do trabalho e da metodologia utilizada. O capítulo 4 mostra os resultados obtidos, e o 5 apresenta a conclusão do trabalho.

2. MATEMÁTICA INDUSTRIAL

O curso de matemática industrial é conhecido pela sua multidisciplinaridade. Ele tem como objetivo formar profissionais capazes de resolver problemas matemáticos de vários setores produtivos e industriais. Ofertado pelas universidades federais do Ceará, Goiás, Paraná e Espírito Santo, com duração média de quatro anos, é a área que aplica matemática para resolver problemas de forma rápida, ágil e eficiente.

A interdisciplinaridade é um fator importante na concepção do curso onde o aluno receberá orientação de professores de diversas áreas, como matemática, modelagem matemática e computacional, física, engenharia de produção, engenharia de petróleo, engenharia química, engenharia de computação, ciência da computação, geologia, etc., com o objetivo de pensar a unidade na multiplicidade. Utilizando a modelagem matemática, a computação e a matemática aplicada nas resoluções de problemas do cotidiano das empresas e organizações, sejam públicas ou privadas. Conhecimentos de estatística, matemática pura, computação e outras áreas afins são fundamentais para o exercício profissional capaz de auxiliar a tomada de decisão em diferentes níveis dentro de empresas.

Essencialmente o curso une estatística, matemática e computação para solucionar problemas de maneira ótima. Dessa forma com o crescente avanço da tecnologia, o matemático industrial está sempre buscando novas maneiras e melhores maneiras de otimização. Compõem a matriz curricular do curso disciplinas de cálculo, probabilidade, álgebra linear e matricial, computação e estatística. Outras disciplinas, de caráter mais específico, são matemática computacional e pesquisa operacional, programação linear, inteira e não linear, construção e análise de algoritmos e controle de qualidade. O matemático industrial pode atuar em várias áreas como no controle de processos, gerenciamento de projetos,

logística, controle de fluxo, transporte, economia e mercado financeiro, modelagem de sistema de produção, otimização de processo, redes neurais e inteligência artificial, processamento de dados, processamento de imagens de satélite, tomográficas, sísmicas ou diagnóstico médico por imagens, especialmente com o uso de redes neurais artificiais no auxílio dos resultados. Tipicamente, para uma RNA ser aplicada, é necessário tanto um conjunto de treinamento como de teste. Ambos os conjuntos de treinamento e teste contêm pares com informações de entrada e suas respectivas saídas, tomadas a partir de dados reais. A primeira é usada para treinar a rede, e a segunda para avaliar o desempenho da rede. Na fase de teste, os dados de entrada alimentam a rede e os padrões de saída desejados são comparados com os obtidos através da rede neural.

A concordância, ou não, destes dois conjuntos dá uma indicação do desempenho da rede neural.

2.1 Redes neurais artificiais

Saramasinghe (2006) define uma rede neural na prática como uma coleção de neurônios interconectados que aprendem de forma incremental seu ambiente (dados) para capturar tendências lineares e não lineares em dados complexos, de modo que proporcione prognósticos confiáveis para as novas situações, mesmo contendo ruídos e informações parciais. Assim o conceito de redes neurais artificiais baseia-se no conceito de que o cérebro humano é um computador, capaz de organizar sua estrutura funcional para a execução das tarefas de processamento rapidamente.

Os neurônios são as células que formam o nosso cérebro. Elas são compostas basicamente por três partes: os dendritos, que captam informações ou do ambiente ou de outras células; o corpo celular ou Soma, responsável pelo processamento das informações; e um axônio, para distribuir a informação processada para outros neurônios ou células do corpo. Só que uma célula dificilmente trabalha sozinha. Quanto mais células trabalharem em conjunto, mais elas podem processar e mais eficaz torna-se o trabalho. Logo, para o melhor rendimento do sistema são necessários muitos neurônios.

Foi pensando em como os neurônios trabalham que pesquisadores desenvolveram neurônios artificiais. Cada um tem dois ou mais receptores de entrada, responsáveis por perceber um determinado tipo de sinal. Eles também possuem um corpo de processadores, responsável por um sistema de *feedback* que modifica sua própria programação, dependendo dos dados de entrada e saída. Finalmente, eles possuem uma saída binária para apresentar a resposta “Sim” ou “Não”, dependendo do resultado do processamento.

Uma rede neural busca uma simulação com o sistema nervoso central humano, o qual contém uma coleção de neurônios (componentes de processamento) que trocam informação com axônios e dendritos (ramificações que recebem sinais elétricos de outros neurônios, que são transmitidos pelo axônio), cuja junção de dendritos e axônio é chamada de sinapse. Estima-se que existam cerca 10^{12} neurônios no cérebro humano, e que cada um destes possua aproximadamente 10^3 sinapses [Thompson, 1986], Com tempo de resposta para neurônios naturais de milésimos de segundos. Uma definição bastante clara para as redes neurais artificiais é a encontrada em Haykin (2001, p.28):

Uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torna-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos 1. O conhecimento é adquirido pela rede a partir de ambiente através de um processo de aprendizagem. 2. Forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizadas para armazenar o conhecimento adquirido.

Ou seja, uma RNA é um sistema computacional que tem a possibilidade de aprender com a prática, produzindo alternativas adequadas para as entradas que não estavam presentes na entrada dos dados durante o treinamento de modo a alcançar o objetivo esperado. Essa capacidade torna possível as redes neurais resolverem problemas mais complexos. Porém sua utilização não é tão simples, durante a sua implementação

vários problemas podem acontecer podendo ocorrer o impedimento de sua aplicação e ainda quando aplicados isoladamente, as redes neurais podem gerar soluções imprecisas, pois precisam ser integradas a outros paradigmas de sistemas.

Nota-se também que o avanço tecnológico ainda não chegou ao patamar de realizar do cérebro humano e que ainda estamos dando os primeiros passos para se chegar a uma arquitetura computacional a altura. Com base nestas breves considerações, o objetivo da presente comunicação é apresentar uma revisão da literatura acerca das aplicações das RNA na matemática industrial.

As redes neurais são baseadas no cérebro humano, que recebe continuamente informação, percebe-a e toma, com base na informação, decisões apropriadas. Os dendritos são uma zona do neurônio que recebem impulsos elétricos e eles ativam ou não de forma aleatória que transmitem os dados ao axônio e provoca a sinapse e dessa forma ativa ou não uma área do neurônio, por exemplo se ele está programado para emitir impulsos ao ver um quadrado e não emitirá impulsos elétricos ao ver um círculo. Pensando nisso, dois pesquisadores chamados Hubel e Wiesel, em 1959, colocaram um eletrodo em um gato, onde era possível de gravar a região cerebral visual e produziram estímulos através de um monitor, dessa forma eles conseguiram ver como ocorre a ativação dos neurônios, pensando nisso surgiu a ideia de que cada neurônio tem um linear de ativação diferente. Passando para o neurônio artificial, temos uma entrada um valor x que é passado para uma função linear se este valor for maior que a função de ativação ele reage se não ocorre um erro de ativação.

A entidade mais simples de uma rede neural é o neurônio que, baseado no funcionamento do neurônio biológico, segue o modelo apresentado nas Figura 1 e 2.

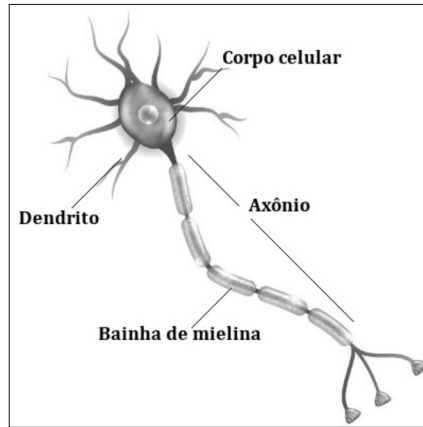


Figura 1- Neurônio Natural

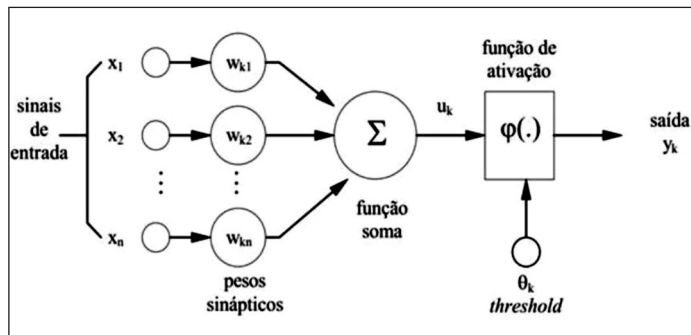


Figura 2 – Modelo não linear de um neurônio

Os elementos básicos do neurônio são:

- entradas (x_1, x_2, \dots, x_m);
- um conjunto de sinapses, cada uma delas caracterizada por um peso sináptico ($w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$);
- um somador (Σ) utilizado para fazer a soma dos sinais de entrada ponderados;
- uma função de ativação $\varphi(\cdot)$ para restringir a amplitude da saída do neurônio; podem ser utilizadas funções de ativação de um neurônio: função de limiar; função linear por partes ou função sigmoide;
- um bias (b_k) que é uma espécie de peso do neurônio na rede;
- saída (y_k).

O comportamento das conexões entre os neurônios é simulado por meio de seus pesos. Os valores de tais pesos podem ser negativos ou positivos, dependendo de as conexões serem inibitórias ou excitatórias. O efeito de um sinal proveniente de um outro neurônio é determinado pela multiplicação do valor (intensidade) do sinal recebido pelo peso da conexão correspondente.

A arquitetura de uma rede poderá ser utilizada, e é definida pelo número de camadas (camada única ou múltiplas camadas), pelo número de nós em cada camada, pelo tipo de conexão entre nós em cada camada, pelo tipo de conexão entre os nós (*feedforward* ou *feedback*) e por sua topologia. Uma de suas capacidades mais importantes é o fato de uma rede neural aprender por meio de exemplos e fazer inferências sobre o que aprendeu, melhorando a cada etapa o seu desempenho. Através de um algoritmo de aprendizagem cuja tarefa é ajustar os pesos de suas conexões.

Devido às características não lineares inerentes ao mapeamento entre camadas de RNAs *feedforward*, estas se caracterizam como ferramentas de modelamento bastante apropriadas para o modelamento e controle de sistemas. Ferramentas matemáticas disponíveis para o controle de sistemas não lineares, normalmente utilizam técnicas de linearização, transformando a tarefa de controle não linear em pequenas tarefas de controle linear. Apesar de muitas vezes eficiente, esta abordagem não retrata a realidade dos sistemas físicos, podendo resultar em soluções subótimas. Devido à capacidade de modelar com fidelidade ações não lineares, as RNAs se constituem um importante ferramenta para o controle de sistemas.

Existem duas formas de aprendizado de redes neurais: aprendizado supervisionado e aprendizado não supervisionado. No aprendizado supervisionado, um agente externo (tutor) apresenta à rede neural alguns conjuntos de padrões de entrada e seus correspondentes padrões de saída. É necessário ter um conhecimento prévio de comportamento que se deseja ou se espera da rede. Para cada entrada, o tutor indica claramente se a resposta calculada é boa ou ruim. A resposta fornecida

pela rede neural é comparada á resposta esperada. O erro verificado é informado á rede para que sejam feitos os ajustes a fim de melhorar suas futuras respostas. Já na aprendizagem não supervisionada, ou aprendizado autossupervisionado, não existe um agente externo para acompanhar o processo de aprendizado. Neste tipo de aprendizagem, somente os padrões de entrada estão disponíveis para a rede neural. A rede processa as entradas e, detectando suas regularidades, tenta progressivamente estabelecer representações internas para codificar características e classificá-las automaticamente. Só sendo possível quando existe redundâncias nos dados de entrada, para se determinar os padrões nos dados observados.

Hoje em dia, se trabalho com o modelo Perceptron, um neurônio que recebe vários pesos e uma função linear que recebe vários valores, fazendo a soma b , o resultado da soma dirá se o valor final valerá ou não.

O modelo de cada unidade da rede pode incluir uma não linearidade na sua saída, a qual deve ser reduzida. A função de ativação representa o efeito que a entrada interna e o estado atual de ativação exercem na definição do próximo estado de ativação da unidade. Segundo Haykin (2001), existem diversos tipos de funções de ativação, sendo os mais populares:

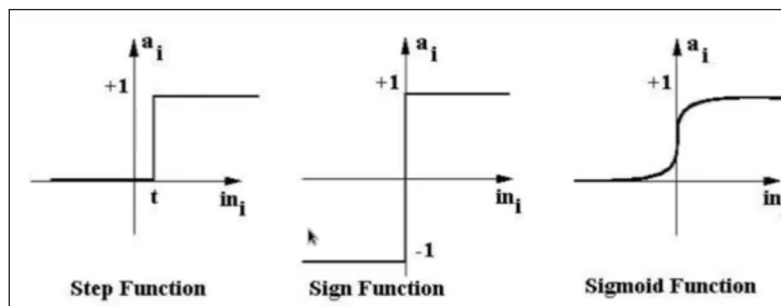


Figura 3: funções de ativação

Matematicamente, um neurônio k seria descrito pelas seguintes equações:

Os principais benefícios das redes neurais são:

- Generalização, que se refere ao fato de a rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento.
- Poder computacional, por meio de sua estrutura maciçamente paralela.
- Habilidade de aprender. Essas capacidades de processamento de informação tornam possível às redes neurais resolver problemas complexos e/ou de grande escala que são atualmente intratáveis. Funções de ativação utilizadas atualmente.

Não existe uma programação predefinida dos neurônios artificiais, como existem nas portas lógicas utilizadas nos circuitos computacionais. Cada dado que é analisado gera um peso, dependendo do resultado. Se for um acerto, ela ganha um ponto; se for um erro, ela perde meio ponto. Dessa forma uma rede neural testa várias vezes a percepção do objeto. A cada acerto, os neurônios envolvidos no processamento ganham um ponto, e aquela rede é reforçada. A cada erro, esses neurônios perdem meio ponto. Assim, o sistema cria rotinas de seguir o caminho com mais pontos sempre. Quanto mais tentativas, mais aprimorado fica o sistema, chegando, ao final de um processo de aprendizado a executar tarefas quase sem erro algum. Assim, para executar tarefas, uma rede neural não precisa guardar instruções de comando e executá-las de forma lógica, como num computador tradicional, ao invés disso, a rede aprende o que é preciso ser feito e executa a função, uma mesma rede, se ela for capacitada com os neurônios necessários para tal, é capaz de executar várias funções diferentes, independente de espaço de memória.

Em sistemas mais elaborados, uma rede neural consegue aprender qualquer função que uma pessoa possa saber e não há limites para a quantidade de informação que ela possa processar. Na fase de aprendizagem, a RNA extrai informações relevantes de padrões de informação apresentados a ela, dando origem a uma representação própria do problema.

Nesta etapa, os parâmetros da rede são ajustados, os quais são caracterizados pelos pesos das conexões entre as unidades de processamento. Ao final da etapa de treinamento, a rede terá adquirido conhecimento sobre o ambiente em que está operando, sendo este, “armazenado” em seus parâmetros (EYNG, 2008).

Buscando melhorias para as formas de inteligência artificial, alguns pesquisadores começaram a estudar o funcionamento dos neurônios. Em especial, Frank Rosenblatt pesquisou a estrutura humana, composta por vários neurônios sensoriais, responsáveis por perceber as formas e cores, cada um transmitindo uma resposta em rede para vários outros neurônios que então enviam suas informações para o cérebro para finalmente processá-las e transformá-las em imagens. Essa é a base do funcionamento dos neurônios artificiais que levaram ao desenvolvimento do Perceptron.

O perceptron foi a primeira máquina criada para processamento de informação feita sobre sistema de redes neurais. Primeiro sistema de processamento pequeno o suficiente para ser usado por uma pessoa, ele é conhecido como a forma de processamento de informação baseado em redes neurais, construído com neurônios artificiais, formando redes de processamento. Uma rede dessas se chama de Perceptron.

Uma RNA extrai seu poder computacional através de sua habilidade de aprender e de generalizar. A generalização se refere ao fato de a rede neural produzir saídas adequadas para entradas inexistentes durante a aprendizagem, tornando possível a resolução de problemas complexos, atualmente intratáveis. Entretanto, as redes neurais precisam ser integradas em uma abordagem consistente de engenharia de sistemas, onde um problema complexo é decomposto em um número de tarefas relativamente simples, de acordo com a capacidade inerente à RNA (HAYKIN, 2001).

3. METODOLOGIA UTILIZADA

O presente trabalho foi construído tendo por base a revisão da literatura com estratégia de busca definida. Foi consultada a Scientific Elec-

tronic Library Online (SciELO), no período de 01/03/2013 a 31/05/2018. Os termos utilizados foram:

- Estratégia 1: redes neurais artificiais.
- Estratégia 2: redes neurais artificiais + matemática aplicada.

Além dos artigos, foram consultados livros-textos, teses de doutorado, dissertações de mestrado, diretrizes e documentos oficiais relacionados ao tema. A pesquisa empreendida permitiu identificar 179 citações, dentre as quais foram selecionados 10 manuscritos.

A utilização da RNA para um fim específico tem relação direta com a eficiência com que esta fornece respostas próximas aos dados de saída reais. Para isso, o neurônio artificial deve ser capaz de aprender uma determinada tarefa (EYNG, 2008).

Grande parte dos trabalhos envolvendo a análise e desenvolvimento de sistemas de apoio ao diagnóstico na área de imagens, baseados em redes neurais artificiais refere-se a sistemas que têm como objetivo a classificação de padrões em imagens. Dentre várias publicações nesta linha, encontram-se trabalhos que utilizam a técnica de redes neurais artificiais para análise automática das imagens. Por exemplo o modelo simples de classificação para dados rotulados.

- Hipótese: as classes apresentam propriedades distintas (seus elementos pertencem a regiões distintas do espaço vetorial multidimensional).
- Modelagem: um representante para cada classe.
- Objetivo: minimizar o somatório das distâncias entre os dados e o respectivo representante da classe a que pertencem; aplicação: após finalizar o posicionamento de todos os representantes, definir o rótulo de cada novo dado não rotulado como aquele associado ao representante que possuir a menor distância ao dado trata-se, portanto, de um problema de otimização, que pode ser resolvido por intermédio de técnicas de treinamento supervisionado. No caso, basta dividir o presente problema em C problemas distintos, sendo C o número de classes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização de novas tecnologias computacionais tem demonstrado inúmeras vantagens no processo de aquisição de habilidades. Nesta perspectiva, as RNA têm sido empregadas na matemática industrial, já que se trata de um modelo computacional extremamente útil para a resolução de problemas complexos. Além disso, têm sido descritos efeitos positivos no processo ensino-aprendizagem dos discentes, com aumento da capacidade de armazenamento de informações, de análise sistemática dos dados e de criação de novas abordagens para resolver cada problema apresentado. Redes Neurais Artificiais têm se tornado o foco de muita atenção, devido a sua ampla aplicabilidade e, principalmente, por tratar de casos considerados complicados. RNA podem identificar e aprender padrões relacionando conjunto de dados de entrada e valores de saída correspondentes. Após o treinamento, RNA podem ser usadas para prever o resultado relacionado a um novo grupo de dados de entrada. Elas podem resolver problemas com dados não lineares e complexos, mesmo sendo dados imprecisos e ruidosos. Com isso, a bioinformática pode ser contemplada com maior variedade de conhecimento e formas de aprendizagem, atendendo às necessidades que o presente impõe: uma miríade de habilidades que o profissional necessita para atuar.

As RNAs configuram-se como uma tecnologia embasada em raízes multidisciplinares, sendo fundamentada pela neurociência, matemática, física, estatística, ciência da computação e engenharia. Como resultado do acelerado desenvolvimento tecnológico, as redes neurais passaram a ter aplicações em diferentes campos como, por exemplo, em processos de modelagem, análise de séries temporais, reconhecimento de padrões, processamento de sinais e controle de processos. Abrangendo o campo de estudo da área de matemática Industrial. Notamos que a assim como a profissão de matemático industrial tem várias áreas de atuação, o mesmo ocorre com a aplicação das RNAs, mostrando que este sistema computacional pode ser aplicado à matemática industrial.

CONSIDERAÇÕES

A técnica de RNA representa a cooperação multidisciplinar – envolvendo os campos da neurociência, da matemática, da computação científica e da estatística –, podendo ser aplicada a diversos problemas de diferentes áreas, incluindo a matemática industrial. Sua habilidade em reconhecer padrões é amplamente aplicada em reconhecimento de imagens, análise de espectros, tomada de decisão em problemas complexos – lineares e não lineares –, dentre outros.

As investigações dirigidas às RNA têm possibilitado o desenvolvimento da computação de alto desempenho – com processadores interligados em rede assumindo papel de neurônios –, destacando-se sua elevada capacidade de processamento. Ademais, o avanço na área cognitiva computacional contribui para a construção de máquinas “inteligentes”, hábeis no reconhecimento de padrões, no controle e no processamento de sinais. Não se deve esperar que uma única máquina seja capaz de resolver todos os problemas. Mas cada máquina inteligente poderá adquirir uma aplicação específica – destacando-se, no presente contexto, as aplicações das RNA área de matemática computacional. Na prática, a aplicação das redes neurais não ocorre de maneira tão simples. Inúmeros problemas podem ocorrer durante o seu processo de implementação, podendo restringir sua aplicação em situações específicas. Além disso, as RNAs normalmente não conseguem fornecer soluções precisas quando aplicadas isoladamente, sendo integradas a outros tipos de sistemas. Assim, pesquisas constantes são necessárias a fim de se chegar a uma arquitetura computacional que possibilite ampliar as atividades de modelagem, simulação e controle.

REFERÊNCIAS

BEALE, R.; JACKSON, T. 1HXUDOFRPSXWLQJ: an introduction. Bristol: IOP Publishing, 1990.

Braga AP, Carvalho APLF, Ludermir TB. Redes Neurais Artificiais: teoria e aplicações. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

EYNG, E.; SILVA, F. V.; PALÚ, F.; FILETI, A. M. F. Neural network based control of an absorption column in the process of bioethanol production. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 52, p. 961-972, 200

HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. Porto Alegre: Bookman, 2001.

LARA, Marilda Lopes Ginez de; SMIT, Johanna Wilhelmina. *Temas de pesquisa em Ciência da Informação no Brasil*. São Paulo: Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/000005/00000588.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2012.

MINSKY, M. L.; PAPPERT, S. *Perceptron: an introduction to computational geometry*. Cambridge: MIT Press, 1969.

MUELLER, Suzana Pinheiro Machado; PERUCCHI, Valmira. Universidades e a produção de patentes: tópicos de interesse para o estudioso da informação tecnológica. *Perspectivas em Ciência da Informação*, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 15-36, 2018.

NUNES, W.V. Introdução às redes neurais artificiais. In: Esperidião-Antônio V. *Neurociências: diálogos e interseções*. Rio de Janeiro: Rúbio, 2012. p. 1-768.

SPANDRI, Renato. *Introdução a redes neurais*. Controle & Instrumentação, São Paulo: Editora Técnica Comercial Ltda, n. 43, p. 68-73, fev. 2000.

TRISTÃO, Ana Maria Delazari; FACHIN, Gleisy Regina Bóries; ALARCON, Orestes Estevam. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento. *Ciências da Informação*, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p. 172-178, 2004. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/ciinf/index.php/ciinf/article/view/265/233>>. Acesso em: 2 maio. 2018.

WITTEN I.H.; FRANK E. *Data mining: Practical machine learning tools and techniques*. 2nd edition. San Francisco: Morgan Kaufmann; 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. *Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará*. Fortaleza, 2018.