

MONITORAMENTO DO DESGASTE E DETERMINAÇÃO DO MOMENTO DE TROCA DA FERRAMENTA VIA REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Victor Hugo Serafim Rubin¹, victorsrubin@hotmail.com1

Henrique Butzlaff Hübner¹, hubner12@hotmail.com

Álison Rocha Machado², alisson.rocha@pucpr.br

Alcione dos Reis¹, alcionedosreis@yahoo.com.br

¹Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121 Bloco 1M - Santa Mônica, CEP 38408-100, Uberlândia – MG, Brasil.

²Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR, CEP 80215-901, Curitiba-PR, Brasil.

Resumo: Um sistema de monitoramento deve procurar realizar a substituição total ou parcial das atividades que o homem exerce no processo de manufatura. Um ponto crítico para o processo de usinagem não assistido é identificar o momento exato de troca da ferramenta de corte, considerando sua máxima utilização e respeitando os limites de qualidade da peça. Este trabalho visa conhecer e identificar o comportamento do desgaste de uma ferramenta aplicando as técnicas de redes neurais, por meio de dados de força de usinagem e potência de corte, para que seja possível detectar seu fim de vida e, consequentemente o momento de troca de aresta, visando maior produtividade. Os testes consistiram em tornear o aço VC131 (ABNT D6) com ferramentas de PCBN, medindo-se o desgaste da ferramenta a cada passada e, durante a usinagem, media-se as componentes de força de usinagem e a potência elétrica de alimentação do motor principal da máquina-ferramenta. Os resultados dos testes foram utilizados para treinamento de uma rede neural em MatLab, que em conjunto com o software LabView, construiu-se um sistema de detecção do fim de vida da ferramenta. Um fator importante é que esse sistema permite o monitoramento on-line, ou seja, durante o funcionamento normal da máquina, sem que a mesma precise ser interrompida durante a usinagem e um acompanhamento instantâneo do corte, permitindo a prevenção da quebra e avarias.

Palavras-chave: Desgaste, monitoramento, redes neurais, VC131, PCBN

1. INTRODUÇÃO

Seja qual for o processo, é necessário o uso de máquinas específicas, denominadas máquinas ferramentas. No desenvolvimento histórico das Máquinas Ferramentas, das máquinas, sempre se procurou soluções que permitissem aumentar a produtividade com qualidade superior associada a minimização dos desgastes físicos na operação das máquinas. Estudos mais aprofundados sobre a usinagem iniciaram-se somente no início do século XIX e em 1900, o americano F. W. Taylor descobriu o aço rápido, determinando um passo marcante no desenvolvimento tecnológico da usinagem.

O monitoramento dos processos de usinagem é de grande interesse tanto para pesquisadores quanto para indústrias no mundo todo, sendo de suma importância para a otimização da vida da ferramenta e prevenção da quebra, de modo que a crescente busca por qualidade e produtividade se torna maior a cada ano.

Um ponto crítico para o processo de usinagem não assistida é identificar o momento exato de troca da ferramenta de corte, considerando sua máxima utilização e respeitando os limites de qualidade da peça. A prática hoje ainda é muito conservadora em relação à vida da ferramenta para garantir a da qualidade da peça e evitar avarias, resultando na substituição prematura, com subutilização da aresta. Em meio industrial isto pode gerar um custo desnecessário, pois aumenta a quantidade de ferramentas consumidas e a frequência de trocas de ferramentas. Basicamente são utilizadas duas estratégias para a substituição de ferramentas dadas como desgastadas, (i) troca por falha ou desgaste excessivo ou (ii) troca programada após a usinagem de um número pré-estabelecido de peças acabadas. Normalmente, as trocas são programadas baseado na qualidade da peça, que deve ser monitorada continuamente. (Maia, 2015).

Este trabalho visa conhecer e identificar o comportamento do desgaste de uma ferramenta até que a ferramenta atinja seu fim de vida, visando melhor produtividade e a troca automática da ferramenta. Um fator importante é que esse sistema permite o monitoramento on-line, ou seja, durante o funcionamento normal da máquina, sem que a mesma precise ser interrompida durante a usinagem e um acompanhamento instantâneo do corte, permitindo a prevenção da quebra e avarias.

Denomina-se vida da ferramenta o tempo que a mesma trabalha efetivamente (deduzindo os tempos passivos), até perder a capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido (FERRARESI, 2006). A vida da ferramenta de corte é importante, pois baseado nela determina-se as condições econômicas na usinagem dos metais. Condições de corte que levam a uma vida curta não são econômicas, pois aumentam o número de trocas e elevam o custo de produção, em contrapartida, baixas remoções de material fazem com que o processo fique mais lento, aumentando o tempo de produção.

A ferramenta de corte é solicitada termicamente e mecanicamente durante a usinagem. Algumas formas de desgaste de naturezas distintas podem ser observadas na ferramenta de corte ao longo de sua utilização, são elas: desgaste de cratera, desgaste de flanco e desgaste de entalhe. (Machado et al. 2015).

Um critério de fim de vida deve ser determinado, de forma a garantir produção com qualidade exigida, com manutenção da integridade da ferramenta de corte até o final.

Os critérios que determinam o fim de vida das ferramentas de corte normalmente utilizados se baseiam nos seguintes fatores (FERRARESI, 2006).

- O desgaste da superfície de saída da ferramenta atinge proporções tão elevadas que se receia uma quebra da ferramenta de corte.
- Os desgastes atingem valores que fazem com que a temperatura da aresta de corte se aproxima da temperatura na qual a ferramenta perde o fio de corte
- Devido ao desgaste da superfície de folga da ferramenta, não é mais possível obter as tolerâncias exigidas na peça.
- O acabamento superficial não é mais satisfatório
- O aumento da força de usinagem, proveniente dos desgastes elevados da ferramenta interfere no funcionamento da máquina.

No meio industrial, os critérios de fim de vida da ferramenta normalmente estão a cargo do operador que, ao temer a quebra da ferramenta e seus efeitos danosos, costuma trocá-la bem antes do desgaste chegar próximo da quebra. Como resultado, há um grande desperdício no uso das ferramentas.

1.1 Monitoramento da Usinagem

O monitoramento da usinagem consiste em adquirir dados que podem ser extraídos durante ou após a usinagem, como rugosidade, desgaste da ferramenta, força, potência, e emissão acústica. O monitoramento de um processo de usinagem pode ocorrer por meio de controle de algumas variáveis, entre elas podem-se citar a máquina, a dinâmica do processo, as ferramentas de corte, a qualidade da peça, entre outros, a fim de se obter o melhor desempenho do sistema (BYRNE et al., 1995).

Um ponto crítico para a manufatura não assistida é a incapacidade de detectar o momento exato de troca da ferramenta, considerando sua máxima utilização e respeitando os limites de qualidade da peça. Indústrias que não possuem detecção automática do estado da ferramenta utilizam basicamente duas estratégias para a substituição de ferramentas dadas como desgastadas, (i) troca por falha ou desgaste excessivo ou (ii) troca programada após a usinagem de um número pré-estabelecido de peças acabadas. Normalmente, as trocas são programadas baseado na qualidade da peça, que deve ser monitorada continuamente.

Existem vários métodos para programar o monitoramento nos processos de usinagem, normalmente divididos em: (Dan e Mathew, 1990)

- Monitoramento direto: método em que a grandeza a ser monitorada é medida diretamente, utilizando sensores óticos, equipamentos de medição de geometria e condição de desgaste da ferramenta, entre outros. A medição do desgaste por meio de um microscópio ou ainda a qualidade superficial de uma peça por meio de um rugosímetro são bastante comuns em usinagem, porém o processo precisa ser interrompido para a medição. Por outro lado, uma vez que a variável é medida diretamente, não sofre interferência de outros parâmetros.
- Monitoramento indireto: método em que outro parâmetro é medido e relacionado com o parâmetro a ser monitorado, para a tomada de decisão. Por exemplo, para monitorar o desgaste de uma ferramenta de corte poderia ser utilizada a potência de corte, o sinal de emissão acústica ou as componentes da força de usinagem, já que essas respostas do sistema estão intimamente ligados ao desgaste da ferramenta.

As grandezas são adquiridas em tempo real, enquanto o processo esteja acontecendo, sem a necessidade de interrupção para a medição de qualquer outro parâmetro e devido a isso é o sistema que vem merecendo maior atenção acadêmica e industrial, pois há um relevante ganho de produtividade e eficiência.

Um sistema de monitoramento deve procurar realizar a substituição total ou parcial das atividades que o homem exerce no processo da manufatura, com por exemplo, as máquinas CNCs já substituíram em grande parte o trabalho humano, mais ainda falta muito. Em geral, funções como estabelecimento da troca da ferramenta, inspeção da peça e a troca da ferramenta seriam funções muito úteis para o processo de torneamento.

Um sistema eletromecânico é constituído pela junção de subsistemas que são compostos por componentes tanto elétricos como mecânicos, de forma que cada um possa desempenhar sua função e comunicar entre si. Permite por meio de uma entrada, a obtenção de uma resposta na saída do sistema de forma correspondente e desejável. Desta forma todo sistema pode ser representado por um diagrama de blocos, tornando sua visualização mais simples e compreensível aos olhos do leitor.

Os principais componentes de um sistema de monitoramento e controle são: sensor, condicionador, conversor a/d, modelo e estratégia. Com exceção da estratégia, todos os outros componentes fazem parte do sistema da aquisição. Sistema de aquisição de dados é qualquer arranjo que permita transformar os sinais analógicos em digitais, para permitir a interpretação e manipulação por sistemas digitais (BRUSAMARELO, 2010).

1.2 Redes Neurais Artificiais

As redes neurais artificiais consistem em um método de solucionar problemas de inteligência artificial, construindo um sistema que tenha circuitos que simulem o cérebro humano, inclusive seu comportamento, ou seja, aprendendo, errando e fazendo descobertas. São mais que isso, são técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência.

Braga et al., 2007, definem redes neurais artificiais (RNA) como sendo sistemas paralelos distribuídos compostos de unidades de processamentos simples (nodos) que calculam determinadas funções matemáticas (normalmente não lineares). Tais unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões, geralmente unidirecionais. Na maioria dos modelos, estas conexões estão associadas a pesos, os quais armazenam o conhecimento representado no modelo e servem para ponderar a entrada recebida por cada neurônio da rede.

A RNA foi criada através de uma analogia com o cérebro humano na década de 1940 por McCulloch e Pitts, sendo utilizadas para resolver características da inteligência artificial sendo que, a capacidade de aprender por exemplos e treinamentos é a grande motivadora para o uso de redes neurais artificiais (TATIBANA; KAETSU, 2016). Neste caso, em lugar de tentar programar um computador digital de modo a fazê-lo reproduzir um comportamento inteligente, se procura construir um computador que possua circuitos modelando os circuitos cerebrais, como também espera-se observar um comportamento inteligente emergindo, aprendendo novas tarefas, errando, fazendo generalizações e descobertas, e frequentemente ultrapassando seu professor.

A capacidade de se implementar computacionalmente versões simplificadas de neurônios biológicos deu origem a uma subespecialidade da inteligência artificial, conhecida como redes neurais artificiais (Haykin, 2001)

Segundo Haykin (2001) uma rede neural é um processador maciçamente paralelamente distribuído constituídos de unidades de processamento simples, que têm a propensão neural para armazenar conhecimento experimental e torna-lo possível para uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

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

Há três elementos básicos que formam um modelo neuronal Haykin (2001):

- Um conjunto de sinapses, sendo que cada sinapse é caracterizada por um “peso”.
- Um somador, que efetua a soma dos sinais de entrada; cada entrada é ponderada pela respectiva sinapse do neurônio.
- Uma função de ativação (sendo às vezes também referida como função restritiva), que limita a amplitude da saída de um neurônio a um valor finito.

O que se espera da computação neural é que possua algumas características e habilidades do cérebro humano, como reconhecimento de padrões, memória associativa, otimização, predição e controle. Sistemas de computação baseados em redes neurais tem a capacidade de receber ao mesmo tempo várias entradas e distribuí-las de maneira organizada. Geralmente, as informações armazenadas por uma rede neural são compartilhadas por todas as suas unidades de processamento. Característica que contrasta com os atuais esquemas de memória, onde a informação fica confinada a um determinado endereço.

2. METODOLOGIA

Os testes foram realizados em um torno CNC da marca ROMI linha Multiplic modelo 35D com 11 Kw (15 cv) de potência no motor principal e 20 KVA de potência instalada, com velocidade máxima no rotor de 3000 rpm.

A matéria prima utilizada no trabalho foi o aço vc131 (AISI D6) com 58 HRC, ele possui alta estabilidade dimensional e excelente resistência ao desgaste, especialmente em condições abrasivas, é utilizado principalmente para moldes e matrizes. Foram utilizadas duas barras com diâmetro inicial de 108 mm e comprimento de 250 mm Sua composição química está apresentada na tabela abaixo.

Tabela 2.1 – Composição química aço vc131 (dados do fabricante)

C	Cr	W	V
2,1	11,5	0,70	0,15

Como o aço é muito duro, o principal critério utilizado para a escolha da ferramenta foi a dureza, logo as ferramentas utilizadas foram insertos de PCBN (Nitreto de Boro Cúbico Policristalino) fabricada pela Sandvik Coromant, classe S (indicada para a usinagem de superligas) e seu código é SNGA 1204 12 S01030A 7015.

A faixa de trabalho indicada pelo fabricante para a utilização da ferramenta é velocidade de corte (V_c) de 150-250 m/min, avanço (f) 0,05 – 0,30 mm/rot. e profundidade de corte (a_p) de 0,07 – 1,20 mm. O suporte utilizado foi o sandvik Coromant PSBNR 2525M 12.

2.1 Aquisição de dados

2.1.1 Medição de força

As componentes de força do processo de torneamento foram medidas através de um dinamômetro Kistler modelo 9265B.

Foram feitas medidas nos eixos X (F_x), Y (F_y) e Z (F_z), que correspondem as componentes das forças de avanço (F_f), passiva (F_p) e força de corte (F_c) respectivamente. A taxa de aquisição foi de 6KHz com um filtro passa baixa de 2KHz, foi feito uma média online pelo programa labView em um tempo de aquisição de 5s. Estes sinais foram amplificados por um condicionador da marca Kistler modelo 5070A

Para a aquisição dos dados e conversão A/D foi utilizado uma placa NI USB-6221 da National Instruments, com 16 entradas, 16 bits e capacidade de aquisição de 250 KS/s.

2.1.2 Medição de Potência

A medição da potência elétrica consumida pelo motor de acionamento do eixo árvore da retificadora, foi obtido através dos valores de tensão e corrente elétrica do motor de indução trifásico (11 kW) monitorado por dois sensores de efeito hall em cada fase do eixo árvore da máquina, um para tensão e outro para corrente. Para medir a corrente é utilizado o sensor HAS 50-600S que engloba o condutor a ser medido capitando o campo magnético gerado pela corrente e transforma em tensão, sendo que a amplitude da tensão de Hall varia com a corrente e o campo magnético. Para a medição de tensão é utilizado o sensor LV-20p, que entra em paralelo com a diferença de potencial a ser medida. A taxa de aquisição foi de 5kHz, em um tempo de 5 segundos.

Os sinais elétricos gerados nos sensores e transdutores muitas vezes necessitam ser convertidos numa forma apropriada para o equipamento de aquisição, particularmente para o conversor analógico-digital (A/D). O condicionamento de sinal também é responsável pela alimentação de energia necessária para que o transdutor possa operar. Os sinais de baixa intensidade devem ser amplificados para aumentar a resolução e reduzir o ruído. Logo foi feito um circuito para cada sensor para os devidos fins utilizando-se de amplificadores operacionais, capacitores e resistores.

A cada passo do torneamento do aço VC131 a ferramenta era retirada do suporte e submetida à análise no estereó microscópio, onde a sua superfície de folga era fotografada e as medições de desgaste eram realizadas. Para todas as condições avaliadas, foram realizados (testes, réplicas e trélicas). Antes de cada medição era feita a calibração do estereó microscópio por meio de uma escala graduada. O monitoramento do desgaste foi feito através de um estereó microscópio modelo SZ61, marca Olympus com ampliação de 2,5x

2.2 Procedimento Experimental

A velocidade de corte e o avanço são as variáveis de entrada do sistema, sendo que a profundidade de corte é fixa. Os níveis destas variáveis e o valor da profundidade de corte foi determinado seguindo recomendações do fabricante da ferramenta. Em cada teste os parâmetros monitorados (variáveis de saída) foram a força de usinagem, a potência de corte e a emissão acústica, além da vida da ferramenta (desgaste) e a rugosidade superficial da peça usinada. A partir dessas informações, foram analisados os efeitos das variáveis de maior significância em relação ao monitoramento da usinagem. Os parâmetros utilizados neste trabalho são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 2.1 - Parâmetros de corte

Condição	V_c (m/min)	f (mm/rot.)	a_p (mm)
1	175	0,1	0,2
2	175	0,2	0,2
3	225	0,1	0,2
4	225	0,2	0,2

Cada teste consiste em utilizar uma ferramenta nova (de PCBN) no torneamento de uma barra do material ABNT D6 (VC 131) no estado envelhecido (dureza de aproximadamente 60HRC), monitorando online as variáveis de saída (Força, Emissão Acústica e Potência). Periodicamente o teste é interrompido para medição do desgaste de flanco

(médio – VBB e máximo - VBBmax) e o teste foi considerado concluído quando o desgaste de flanco atingir um valor pré-estipulado (0,6 mm para VBBmax). Cabe mencionar que durante a usinagem não foi utilizado fluido de corte.

2.3. Aplicação da Rede Neural Artificial

Após a análise de todos os dados e selecionados aqueles que apresentaram melhor correlação com o desgaste de ferramentas, a etapa seguinte foi a aplicação desses dados em uma rede neural artificial, utilizada como uma ferramenta em usinagem com o intuito de detectar o fim de vida da ferramenta.

O processo de classificação foi repetido para as 12 arestas testadas. Cada variável de entrada foi relacionada com seu respectivo estado de desgaste, com o intuito de receber os pesos da rede neural.

O MatLab® (MATrix LABoratory) é um software de alta performance voltado para o cálculo numérico contendo constantes atualizações e aperfeiçoamentos. Ele integra a análise numérica, cálculo com matrizes, processamentos de sinais e construção de gráficos em um ambiente de fácil utilização. (The Mathworks, Inc., 2016). Após vários testes, a topologia que melhor representou foi a 6 - 5 - 1.

A partir do momento em que a rede foi treinada, novos testes foram realizados com condições diferentes das primeiras com o objetivo de validação da rede neural, optou-se por escolher uma condição intermediária e uma condição com maior velocidade e menor avanço indicados para a ferramenta de PCBN. Estas condições se encontram na tabela 3.3.

Tabela 2.2 – Parâmetros de corte dos testes de validação

Condição	V_c (m/min)	f (mm/rot.)	a_p (mm)
5	200	0,15	0,2
6	250	0,05	0,2

3. RESULTADOS

3.1 Força de Corte

As figuras 3.1 a 3.4 mostram as curvas de comportamento das forças de usinagem (f_c , f_f , f_p e f_u) e da rugosidade (R_a , R_q e R_z) em função do desgaste da ferramenta. Observa-se que para todas as condições, a rugosidade e o desgaste aumentam significativamente em função do desgaste, porém, para a condição 4 (225 m/min – 0,2 mm/rot.) essa variação é ainda maior para as forças de corte, aproximadamente 300 N.

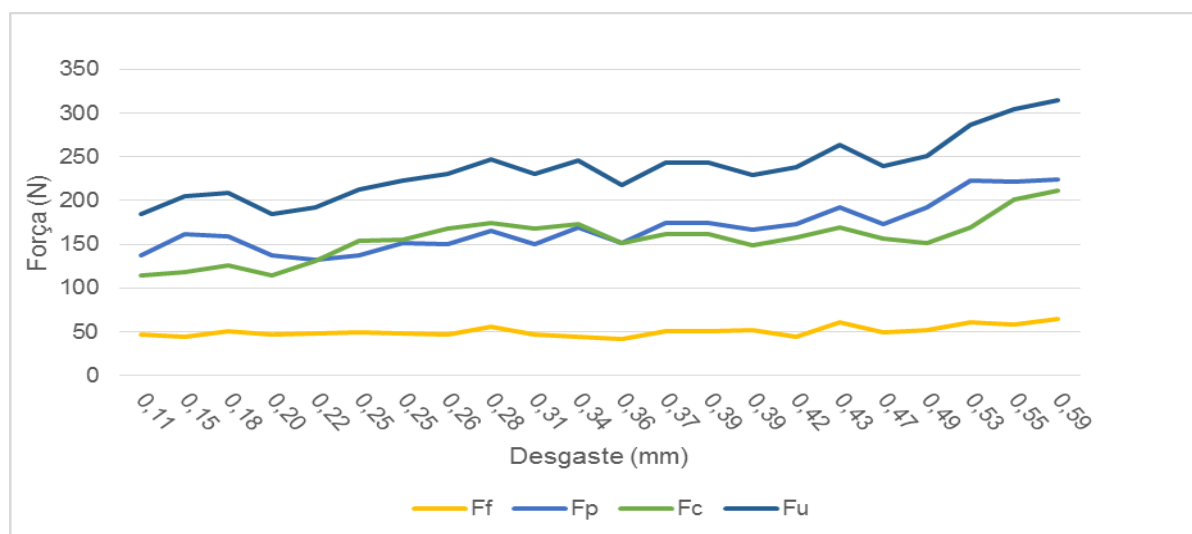


Figura 3.1 – Força e rugosidade em função do desgaste para a condição 1 (175 m/min – 0,1 mm/rot. – 0,2 mm)

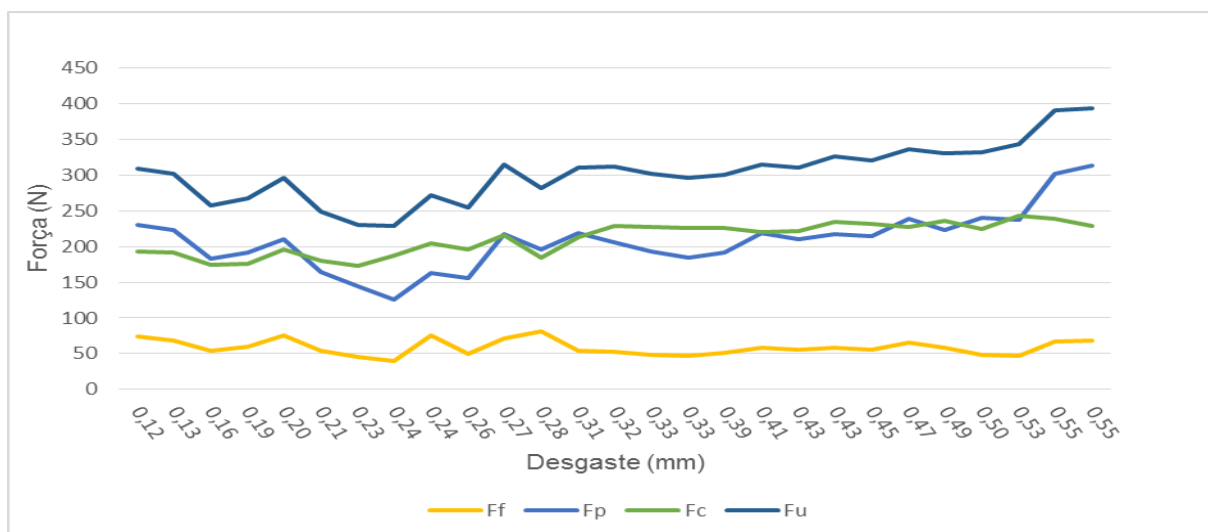


Figura 3.2 – Força em função do desgaste para a condição 2 (175 m/min – 0,2 mm/rot. – 0,2 mm)

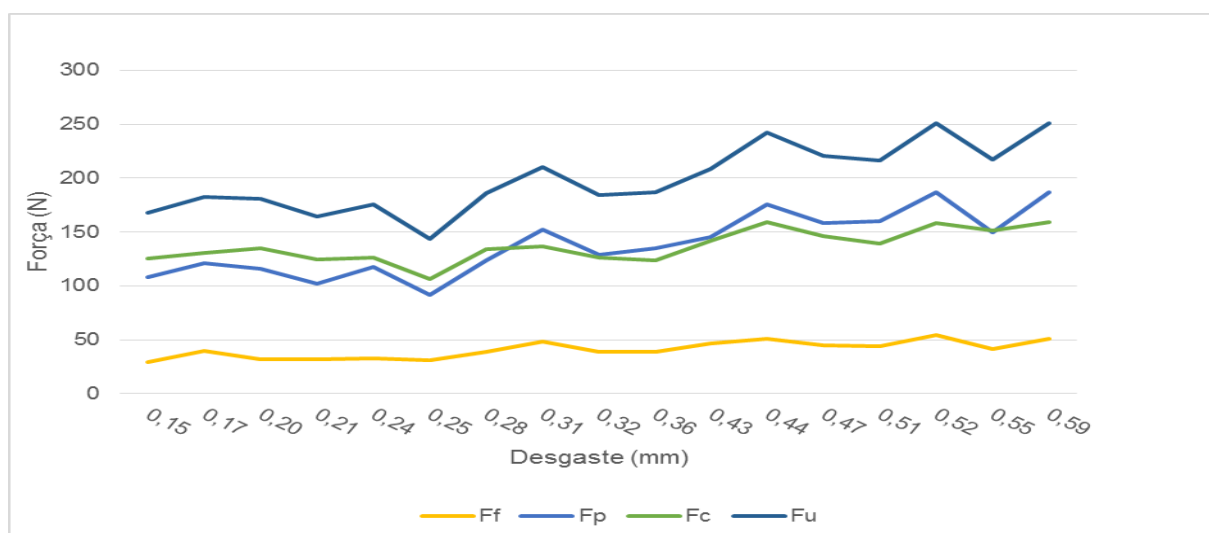


Figura 3.3 – Força em função do desgaste para a condição 3 (225 m/min – 0,1 mm/rot. – 0,2 mm)

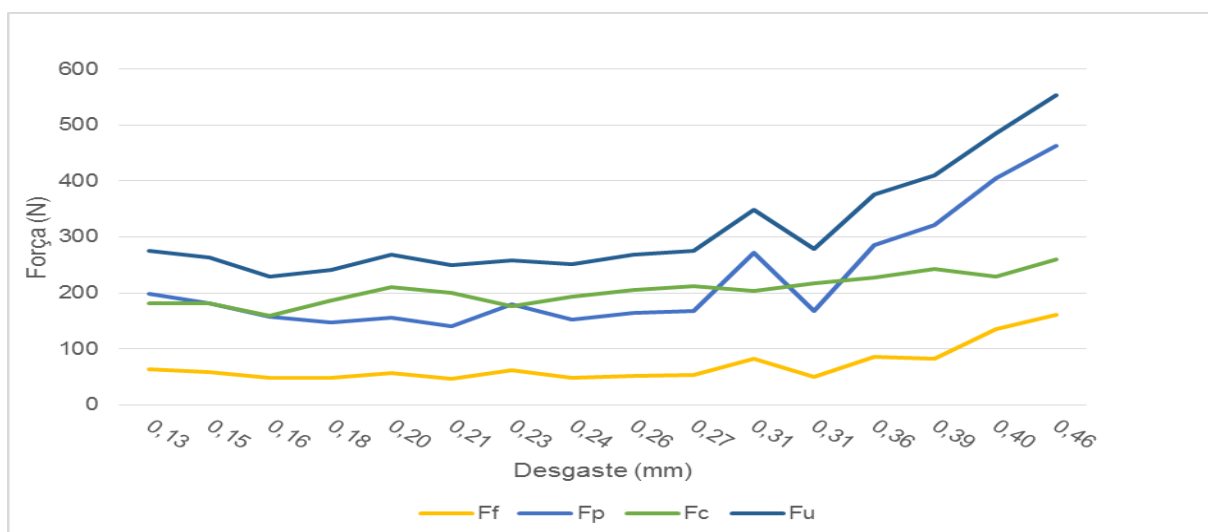


Figura 3.4 – Força em função do desgaste para a condição 4 (225 m/min – 0,2 mm/rot. – 0,2 mm)

Note-se que as maiores forças de usinagem estão nas condições 2 e 4, isso se deve ao maior avanço (0,2 mm/volta) resultando uma maior taxa de remoção de material usinado. A velocidade de corte não obteve influência significativa na força de usinagem (f_u).

Segundo a literatura (Machado et al. 2015), esperava-se que a condição 3 (225 m/min – 0,1 mm/rot.) apresentasse melhor rugosidade, pois possui a maior velocidade de corte (a temperatura gera um “amolecimento” na peça usinada) e menor avanço, porém, a condição 1 (175 m/min – 0,1 mm/rot.) também apresentou excelentes dados de rugosidade, o que nos mostra que a influência do avanço é muito maior do que a influência da velocidade de corte para estas condições.

Outro fator importante a ser analisado é a grande contribuição parcela da força passiva na força de usinagem. Como o raio de ponta da ferramenta é de 1,2 mm e a profundidade de corte de 0,2 mm, 6 vezes menos, a força passiva se torna muito significativa neste processo, chegando a ser superior inclusive a força de corte.

3.2 Resultados da corrente elétrica na usinagem em função do desgaste da ferramenta.

As figuras 3.5 a 3.8 mostram o valor da corrente elétrica em cada condição em função do tempo.

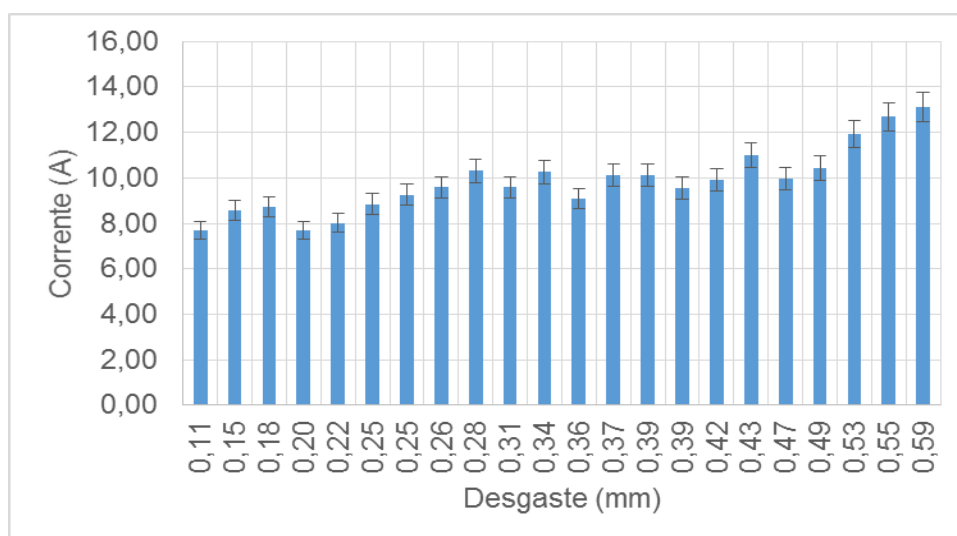


Figura 3.5 – Gráfico de corrente da condição 1 (175 m/min – 0,1 mm/rot. – 0,2 mm)

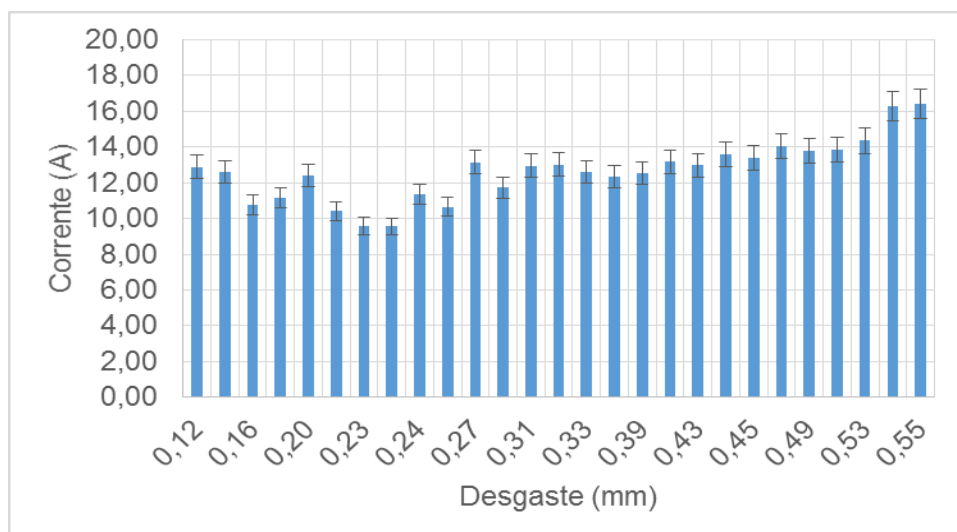


Figura 3.6 – Gráfico de corrente da condição 2 (175 m/min – 0,2 mm/rot. – 0,2 mm)

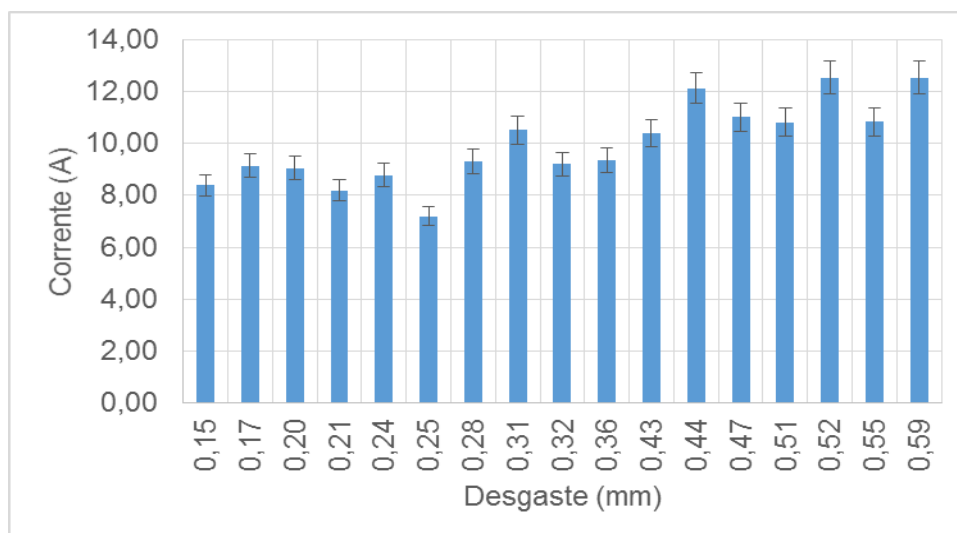


Figura 3.7 – Gráfico de corrente da condição 3 (225 m/min – 0,1 mm/rot. – 0,2 mm)

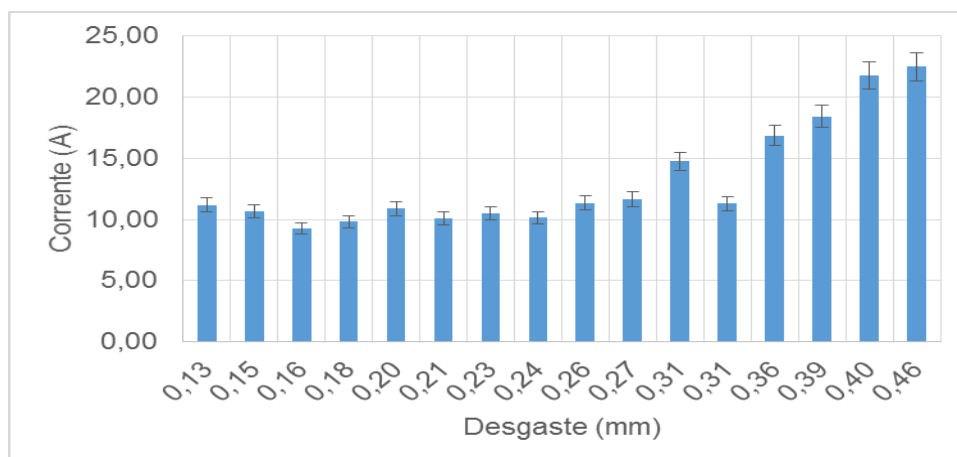


Figura 3.8 – Gráfico de corrente da condição 4 (225 m/min – 0,2 mm/rot. – 0,2 mm)

Podemos também observar uma comparação entre as correntes medidas por efeito hall e através da força de usinagem. Em todas as condições nota-se um aumento da potência de usinagem a medida que o desgaste aumenta agindo de acordo com a literatura. As condições em que o avanço é maior (2 e 4) apresentaram uma corrente elétrica superior as com avanço menor, isto se deve a alta taxa de remoção de material.

3.3 Redes Neurais Artificiais

O toolbox de redes neurais do MatLab separa aleatoriamente 70% dos dados para treinamento, 15% para validação e 15% para testes para os conjuntos de Treino, Validação e Teste durante o treinamento da rede 6-5-1 para o desgaste em função do número de iterações. A figura 3.40 ilustra a curva evolução do erro médio quadrático durante a fase de treinamento. A partir da 205ª iteração o erro quadrática médio começa a aumentar, assim, o valor dos pesos da rede são definidos neste instante.

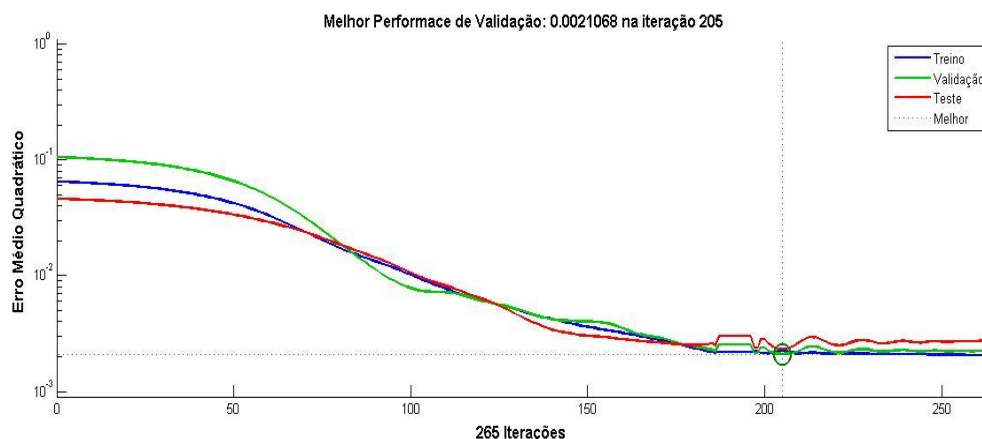


Figura 3.9 - Evolução do erro médio quadrático durante a fase de treinamento.

A Figura 3.10 apresenta o diagrama de dispersão entre os valores do desgaste experimental e o desgaste estimado pela rede 6-5-5-1. Pode-se observar um bom ajuste do modelo, visto que $r > 0,9$ tanto no conjunto de Treino, quanto nos conjuntos de Validação e Teste.

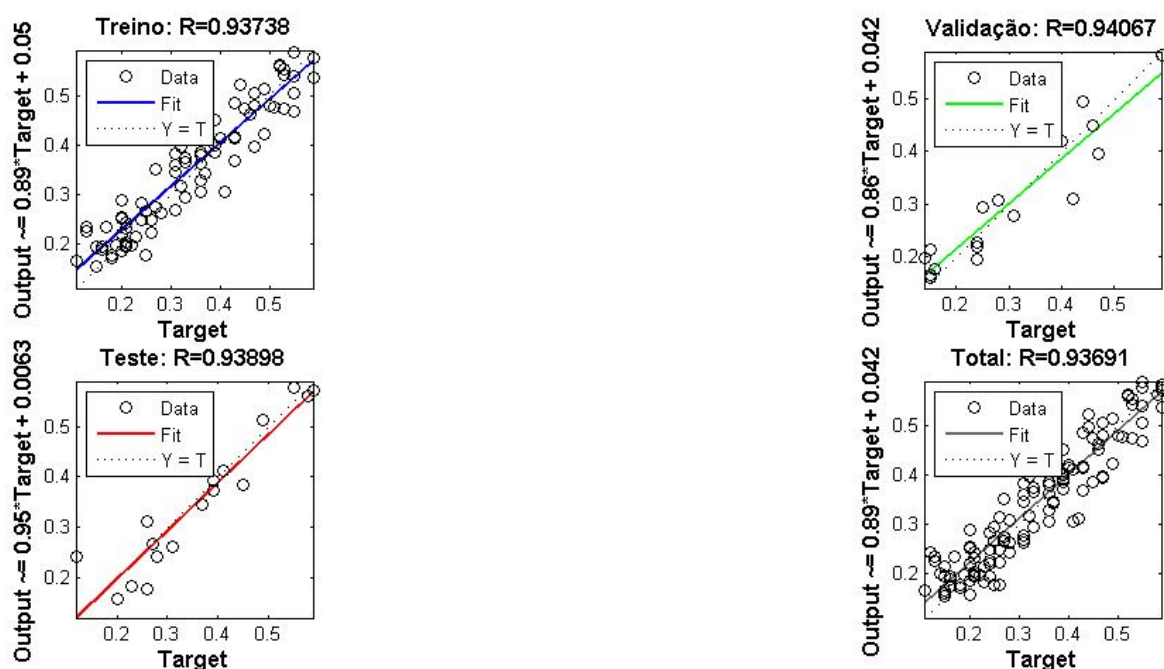


Figura 3.10. Coeficiente de correlação entre os dados estimados pela RNA e experimentais.

Validação do Modelo

A Validação consiste em testar o modelo usando um conjunto de dados diferente do que foi usado durante a fase de treinamento. A tabela 3.1 demonstra os dados utilizados para este processo.

Tabela 3.1 – Dados do processo de validação

V_c (m/min)	Avanço (mm/rot.)	Corrente (A)	Fu (N)	Fc (N)	Desgaste (mm)	RNA (mm)	Desvio
200	0,15	13,2	212,8	186	0,14	0,23	0,09
200	0,15	10,3	159,4	131	0,20	0,20	0,00
200	0,15	9,9	222,5	119	0,22	0,25	0,03
200	0,15	10,8	212,2	165	0,24	0,31	0,07
200	0,15	9,7	217,3	185	0,29	0,35	0,06
200	0,15	11,3	211,1	183	0,32	0,37	0,05
200	0,15	9,9	226,4	198	0,35	0,34	-0,01
200	0,15	10,6	240,3	195	0,37	0,38	0,01
200	0,15	9,8	222,9	198	0,39	0,38	-0,01
200	0,15	14,7	282,9	182	0,45	0,51	0,06
200	0,15	14,5	279,1	188	0,50	0,52	0,02
200	0,15	13,7	264,8	191	0,53	0,52	-0,01
200	0,15	15,2	292,7	197	0,57	0,58	0,01
250	0,05	7,1	120,5	90	0,20	0,27	0,07
250	0,05	7,4	125,8	88	0,30	0,31	0,01
250	0,05	8,9	150,6	83	0,40	0,37	-0,03
250	0,05	9,4	151,3	92	0,48	0,42	-0,06
250	0,05	9,8	157,8	96	0,56	0,44	-0,12

A rede neural artificial apresentou dados muito satisfatórios, especialmente para a condição 5 (200 m/min – 0,15 mm/rot.) visto que o maior desvio foi de 0,09 mm. Para a condição 6 (250 m/min – 0,05 mm/rot.) os resultados foram um pouco menos contundentes devido ao fato de, tanto a velocidade de corte quanto o avanço estarem fora da faixa treinada pela rede.

4. CONCLUSÃO

A partir dos ensaios e análises realizados sobre o processo de torneamento cilíndrico do aço endurecido VC 131 (ABNT D6), com ferramenta de PCBN e diversas condições de corte, pôde-se concluir que:

- Os parâmetros avaliados nos testes realizados com o aço VC 131 mostram que força de corte, força passiva e corrente no motor principal são muito sensíveis ao desgaste, e aumentam com o tempo.
- Apesar da força de usinagem ser uma excelente escolha para o desgaste da ferramenta, o processo é muito intrusivo, além de ser caro. Por isto, o autor deste trabalho acredita que a melhor combinação para detecção do desgaste seja a emissão acústica juntamente com a corrente do motor principal, por serem não intrusivos e mais baratos.
- Os resultados dos modelos das redes neurais foram muito satisfatórios para o processo, apresentando desvios, em geral, menores que 0,06 mm.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brusamarello, Valner Joao; Balbinot, Alexandre. Instrumentação E Fundamentos de Medidas. 2. Ed. Rio De Janeiro: Ltc, 2010

Byrne G.; Dornfeld D.; Inasaki I.; Ketteler G.; Koning W.; Teti R. Tool Condition Monitoring (Tcm) – The Status Of Research And Industrial Application. In: Cirp – Manufacturing Technology, Vol. 44, 2 Ed., 1995. Anais... Cirp, P. 541-567, 1995.

Dan, L., Mathew, J., “Tool Wear And Failure Monitorig Techniques For Turning – A Review”. International Jornal Os Machine Tools And Manufacture, Vol. 30, Oo. 579-598, 1990.

Ferraresi, D. Fundamentos Da Usinagem Dos Metais, 12ª Ed. São Paulo; Edgard Blucher, 2006. 751p.

Haykin, S. Redes Neurais: Princípios E Prática. 2ª Edição. Ontário Canadá: Artmed, 2008. 902 P.

Machado, A. R.; Da Silva, M. B.; Coelho, R. T.; Abrão, A. M.; Teoria Da Usinagem Dos Metais, 3ª Ed. São Paulo; Editora Edgard Blucher, 2015.

Maia, Luís Henrique Andrade. Avaliação De Desempenho De Recobrimentos Em Ferramentas De Metal Duro No Torneamento Do Aço Abnt 4340 Temperado Por Meio De Sinais De Emissão Acústica. 2015. 255 F. Tese (Doutorado) - Curso De Engenharia Mecânica, Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

Tatibana, Cassia Yuri; Kaetsu, Deisi Yuki. Departamento De Informática (Din) Da Universidade Estadual De Maringá (Uem): Homepage Redes Neurais. Disponível Em: <[Http://Www.Din.Uem.Br/Ia/Neurais/](http://Www.Din.Uem.Br/Ia/Neurais/)>. Acesso Em: 02 Ago. 2016.

The Mathworks Inc (Usa). Neural Network Toolbox. 2016. Disponível Em: <[Https://Www.Mathworks.Com/Products/Neural-Network.Html?S_Tid=Srchtml](https://Www.Mathworks.Com/Products/Neural-Network.Html?S_Tid=Srchtml)>. Acesso Em: 12 Set. 2016.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.