

AJUSTE DA CORRENTE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

¹Cezar Augusto da Silva Oliveira

²Darlan Régis Fischer

³Sandra Sttaford Vasconcelos

RESUMO

A proposta do trabalho a seguir, é o desenvolvimento de um ajuste de curvas da corrente em função do tempo da partida de motor a vazio. A resolução do sistema que forma o ajuste será desenvolvido e encontrado com o auxílio do software Matlab. A precisão desta curva encontrada em relação aos pontos originais será verificada a partir do coeficiente de correlação.

Palavras-chaves: Motor de indução; ajuste de curvas; Matlab.

1- INTRODUÇÃO

Conforme Fabrizio Duarte Tissot, Porto Alegre de 2012, apresenta a metodologia para obtenção de curva de tempo x corrente através de ensaio na partida de um motor elétrico de indução.

O motor de indução trifásico (MIT) assíncrono existe desde ano de 1888, quando foi inventado quase simultaneamente, porém de forma independente, por Galileu Ferrari e Nicola Tesla. É uma das máquinas elétricas rotativas mais utilizadas, que correspondem por mais de 90% das cargas motoras instaladas nas indústrias.

O motor de indução trifásico proporciona uma boa opção para acionamentos controlados, pois possui determinadas vantagens sobre o motor de corrente contínua (CC), devido a inexistência do comutador.

¹Engenheiro Eletricista. E-mail: ceausio@bol.com.br.

² Engenheiro Eletricista. E-mail: darlan_f@hotmail.com.

³ Aluna do Curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI.

O motor trifásico tem grande aceitação atualmente, tendo como principais razões que justificam a grande aplicação deste tipo de motor:

- A distribuição de energia elétrica é feita de corrente alternada trifásica, sendo, de fácil acesso.
- O seu custo é menor que dos motores síncronos e motores de corrente contínua.
- A sua manutenção é simples, possui alta robustez, baixo custo e simplicidade de controle.
- Tem menor vibração que os motores de indução monofásicos, pois é alimentado por sistema elétrico trifásico que é equilibrado.

Em todo e qualquer equipamento elétrico, existem três variáveis que são primordiais para o bom funcionamento do mesmo: tensão, frequência e a corrente elétrica. A corrente elétrica só existe, quando temos um circuito eletricamente fechado, ou seja, quando o equipamento é ligado.

Quando se trata de motor de indução trifásico Fig. 01, o mesmo só gira o seu eixo quando a corrente elétrica circula nas bobinas do estator, que é a responsável por induzir uma tensão no rotor, por consequência vai existir uma corrente elétrica produzindo um campo magnético. Quando existem estas interações de campos magnéticos entre estator e rotor, então podemos dizer que o motor está realizando sua função, que é transformar energia elétrica em energia mecânica disponível na ponta do eixo.



Fig. 01- Motor de indução trifásico

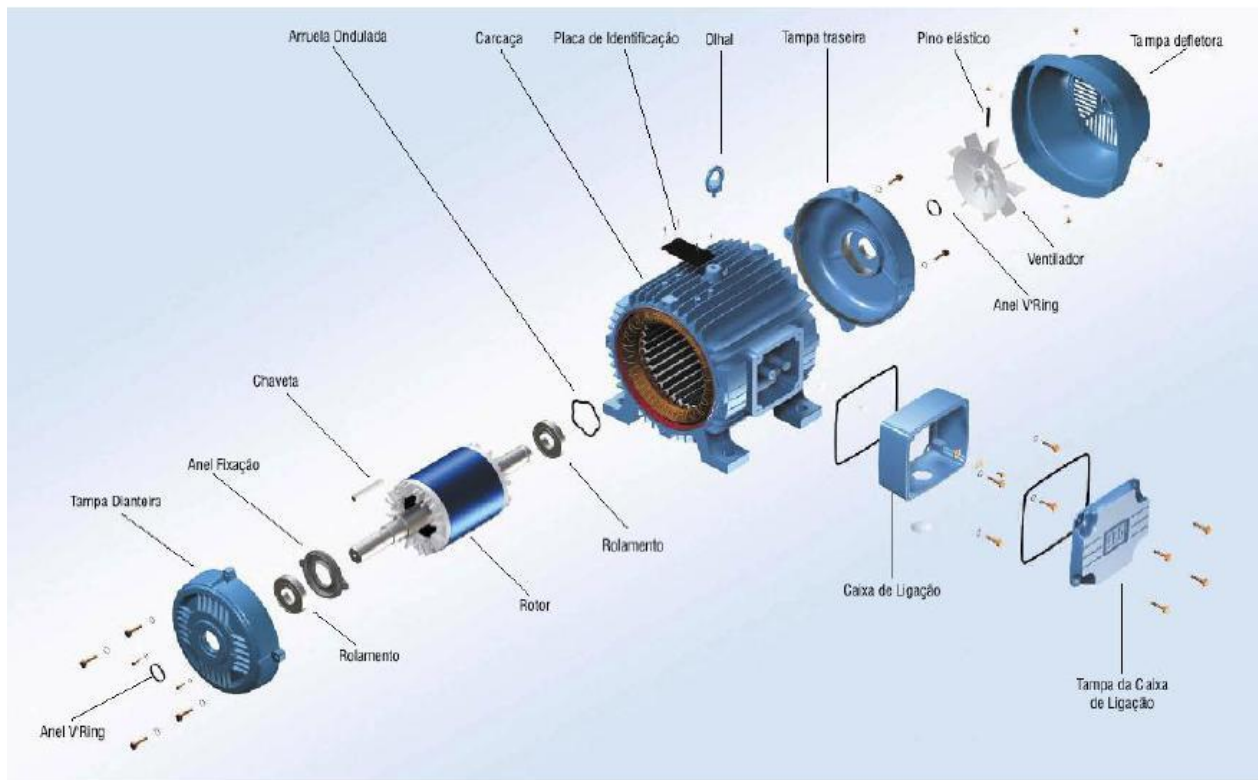


Fig. 02- Partes de um motor de indução trifásico

A grande desvantagem do motor de indução trifásico ocorre na conexão entre fluxo e a tensão do estator, o que não acontece nos motores CC com excitação independente. Este fato limita a faixa de variação de velocidade do motor, quando controlado por variação da tensão do estator.

O princípio de funcionamento do motor de indução trifásico é o mesmo de todos os motores elétricos, ele baseia-se na iteração do fluxo magnético com uma corrente em um condutor, resultando numa força no condutor. Esta força é proporcional às intensidades de fluxo e de corrente.

Existem dois tipos de MIT:

- Rotor em gaiola;
- Rotor bobinado (anéis).

Em uma máquina de dois pólos, o motor é composto de duas partes:

- Estator, onde é produzido o fluxo magnético;
- Rotor, onde é produzida a corrente que interage com o fluxo.

A alimentação do motor de indução trifásico é realizada por uma fonte de tensão trifásica e equilibrada, logo as correntes do estator possuem defasamento de 120° . Estas correntes irão

produzir um fluxo resultante girante em relação à armadura, que irá induzir no rotor tensões alternativas em seus enrolamentos. Estando estes enrolamentos curto-circuitados irão surgir correntes no rotor, sendo estas correntes e o fluxo girante, responsáveis pelo aparecimento do torque no MIT.

Em geral, o método de partida direta somente é recomendável se a corrente de partida do motor de indução trifásico (MIT), não provocar uma redução de tensão apreciável na rede (convém não ser maior do que 10% da tensão nominal), e não pode partir com carga tem que ser á vazio, pois o mesmo solicita uma corrente muito alta na partida. Por isso, em geral, somente motores até 5cv empregam esse método de partida. Neste tipo de partida direta o motor de indução é conectado diretamente à rede, por meio de um contatora eletromecânico, com uma bobina acionada por um sinal de controle, sendo ainda acrescentados, ao circuito de força, fusíveis e relé térmico, como dispositivos de proteção.

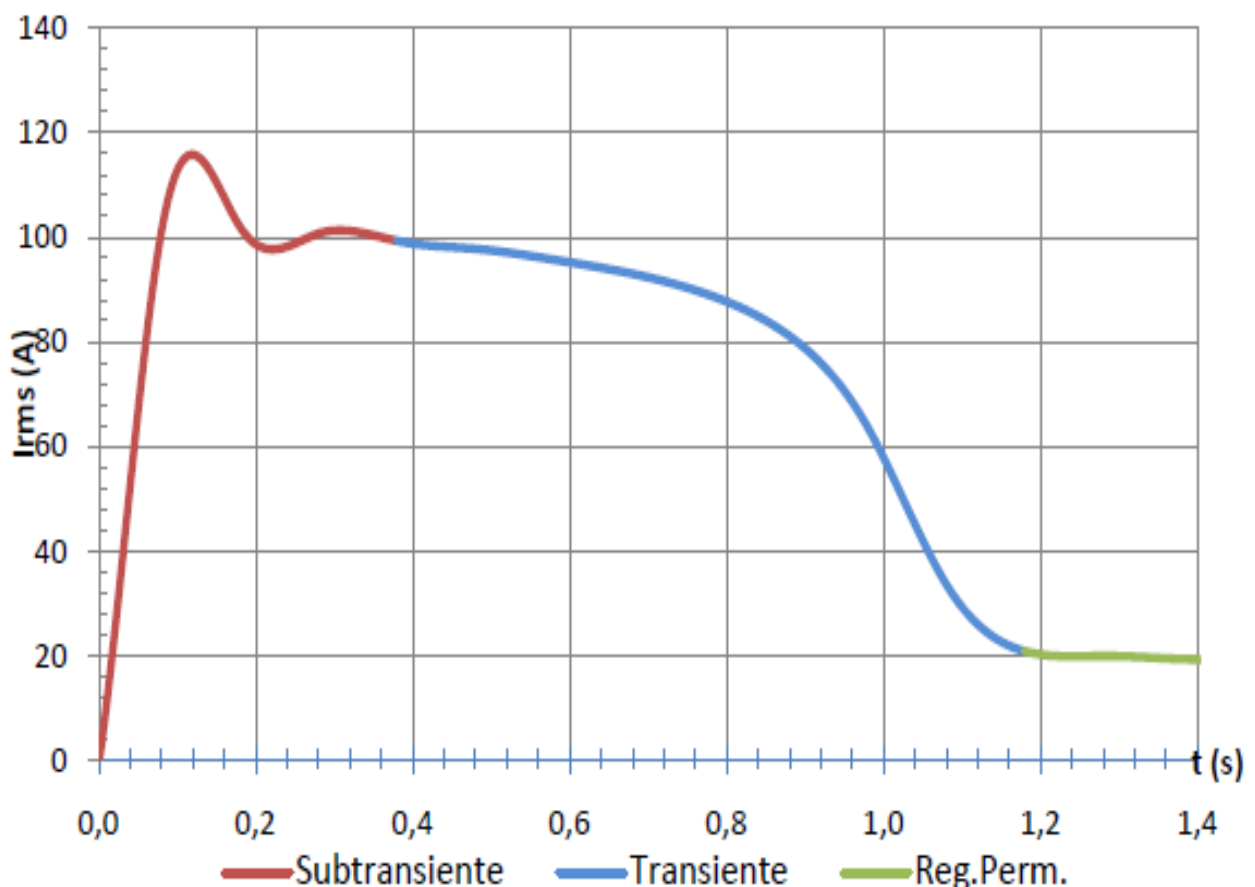


Fig.03 – Curva da corrente em função do tempo da partida de motor a vazio

Percebe-se analisando o gráfico três regimes distintos de corrente:

Corrente subtransiente: é a corrente de pico de partida do motor que pode chegar de 5 a 10 vezes a corrente nominal.

Corrente transiente: é também uma corrente elevada e tende decrescer até atingir o valor de corrente nominal.

Regime permanente: é a corrente que o motor solicita da rede quando o motor atinge sua velocidade nominal.

O gráfico apresentado na Fig. 03 descreve a partida de um motor de indução. Ela parte do ponto 0A (zero ampere), chegando rapidamente a um valor de pico de 116A (cento e dezesseis amperes), após pequeno tempo esta corrente se estabiliza em regime permanente.

A partir desta curva é proposto neste trabalho, desenvolvido para a disciplina de cálculo numérico, um ajuste de curvas da corrente em função do tempo. Curva essa que descreva o comportamento dos três regimes ao mesmo tempo.

Para tanto, foi feita análise do comportamento dos pontos e escolhida uma função de grau seis. A mesma foi encontrada a partir do ajuste de função polinomial. A resolução do sistema que forma o ajuste foi desenvolvido e encontrado com o auxílio do software Matlab. A precisão desta curva encontrada em relação aos pontos originais foi verificada a partir do coeficiente de correlação.

2- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A proposta do artigo é fazer o ajuste da curva do tempo x corrente, através de 11 pontos escolhidos na Fig. 03. A curva a ser ajustada varia muito rápido no início, o motivo é que a corrente do motor elétrico na partida tem um pico muito alto em um pouco intervalo de tempo que é normal, isto dificulta no momento das escolhas dos pontos para realizar o ajuste. Podendo trazer erros não só nas escolhas dos pontos, mas no cálculo final do ajuste.

Tempo (S)	Corrente (A)
0.04	60
0.06	80
0.12	116
0.2	96
0.28	100
0.38	100
0.52	96
0.8	88
0.88	80
1	58
1.2	20

Fig.04- Pontos escolhidos para ajuste da curva

3- RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

É pouco provável que haja uma curva que passe exatamente por cada ponto e descreve fielmente ao comportamento observado em laboratório conforme a curva vista na Fig. 03, a razão disto é que a obtenção de dados experimentais possuem erros inerentes durante o processo.

Através do método ajuste de curvas foi possível encontrar uma curva que se ajuste a uma série de pontos conforme mostra a Fig.04. A vantagem de se obter uma curva que se ajusta adequadamente a estes pontos é a possibilidade de prever os valores da função (variável dependente) para valores da variável (explicativa) que estão fora do intervalo fornecido.

N	ΣX	ΣX^2	ΣX^3	ΣX^4	ΣX^5	ΣX^6	ΣY
ΣX	ΣX^2	ΣX^3	ΣX^4	ΣX^5	ΣX^6	ΣX^7	$\Sigma X*Y$
ΣX^2	ΣX^3	ΣX^4	ΣX^5	ΣX^6	ΣX^7	ΣX^8	ΣX^2*Y
ΣX^3	ΣX^4	ΣX^5	ΣX^6	ΣX^7	ΣX^8	ΣX^9	ΣX^3*Y
ΣX^4	ΣX^5	ΣX^6	ΣX^7	ΣX^8	ΣX^9	ΣX^{10}	ΣX^4*Y
ΣX^5	ΣX^6	ΣX^7	ΣX^8	ΣX^9	ΣX^{10}	ΣX^{11}	ΣX^5*Y
ΣX^6	ΣX^7	ΣX^8	ΣX^9	ΣX^{10}	ΣX^{11}	ΣX^{12}	ΣX^6*Y

Fig.05- Fórmula utilizada para realizar o ajuste

	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X ⁵	X ⁶	X ⁷	X ⁸	X ⁹	X ¹⁰	X ¹¹	X ¹²	X*Y	X ² *Y	X ³ *Y	X ⁴ *Y	X ⁵ *Y	X ⁶ *Y	Ŷ	(Y-Ŷ) ²	(Y-Ym) ²
	0,04	60	0,0016	6,4E-05	2,6E-06	1E-07	4,1E-09	1,6E-10	6,6E-12	2,62144E-13	1E-14	4,1943E-16	1,67772E-17	2,4	0,096	0,00384	0,00015	6,1E-06	2,9E-08	62,8386	8,05742	452,529
	0,06	80	0,0036	0,00022	1,3E-05	7,8E-07	4,7E-08	2,8E-09	1,7E-10	1,00777E-11	6E-13	3,628E-14	2,17678E-15	4,8	0,288	0,01728	0,00104	6,2E-05	3,3E-07	79,6835	0,1002	1,61984
	0,12	116	0,0144	0,00173	0,00021	2,5E-05	3E-06	3,6E-07	4,3E-08	5,15978E-09	6,2E-10	7,4301E-11	8,9161E-12	13,92	1,6704	0,20045	0,02405	0,00289	2,1E-05	105,654	107,048	1205,98
	0,2	96	0,04	0,008	0,0016	0,00032	6,4E-05	1,3E-05	2,6E-06	0,00000512	1E-07	2,048E-08	4,096E-09	19,2	3,84	0,768	0,1536	0,03072	0,00045	108,23	149,575	216,893
	0,28	100	0,0784	0,02195	0,00615	0,00172	0,00048	0,00013	3,8E-05	1,05785E-05	3E-06	8,2935E-07	2,32218E-07	28	7,84	2,1952	0,61466	0,1721	0,00337	99,7551	0,05998	350,711
	0,38	100	0,1444	0,05487	0,02085	0,00792	0,00301	0,00114	0,00043	0,000165216	6,3E-05	2,3857E-05	9,06574E-06	38	14,44	5,4872	2,08514	0,79233	0,02108	93,1249	47,2665	350,711
	0,52	96	0,2704	0,14061	0,07312	0,03802	0,01977	0,01028	0,00535	0,002779906	0,00145	0,00075169	0,000390877	49,92	25,9584	13,4984	7,01915	3,64996	0,13839	96,9924	0,9848	216,893
	0,8	88	0,64	0,512	0,4096	0,32768	0,26214	0,20972	0,16777	0,134217728	0,10737	0,08589935	0,068719477	70,4	56,32	45,056	36,0448	28,8358	1,83501	88,7076	0,50071	45,2562
	0,88	80	0,7744	0,68147	0,5997	0,52773	0,4644	0,40868	0,35963	0,316478382	0,2785	0,24508086	0,215671156	70,4	61,952	54,5178	47,9756	42,2186	3,25083	76,9677	9,1946	1,61984
	1	58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	58	58	58	58	58	7	59,5656	2,4511	541,62
	1,2	20	1,44	1,728	2,0736	2,48832	2,98598	3,58318	4,29982	5,159780352	6,19174	7,43008371	8,916100448	24	28,8	34,56	41,472	49,7664	20,9019	19,8456	0,02383	3754,35
Σ	5,48	894	4,4072	4,14891	4,18483	4,39174	4,73586	5,21314	5,83304	6,613432679	7,57912	8,76184031	10,20089126	379,04	259,205	214,304	193,39	183,469	33,151		325,262	7138,18

Fig.06- Tabela utilizada para obter o sistema

Pretende-se ajustar o seguinte polinômio:

$$Y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3+a_4x^4+a_5x^5+a_6x^6$$

Portanto temos o seguinte sistema:

11	5,48	4,4072	4,148912	4,184832	4,39174	4,73586	894
5,48	4,4072	4,14891	4,184832	4,391743	4,73586	5,21314	379,04
4,4072	4,14891	4,18483	4,391743	4,735868	5,21314	5,83304	259,205
4,14891	4,18483	4,39174	4,735868	5,213145	5,83304	6,61343268	214,304
4,18483	4,39174	4,73586	5,21314	5,83304	6,6134327	7,57912298	193,39
4,39174	4,73586	5,21314	5,83304	6,61343268	7,579123	8,76184003	183,469
4,73586	5,21314	5,83304	6,61343268	7,57912298	8,7618403	10,2008913	33,151

Fig.07- Sistema

3.1- Programação do Matlab desenvolvido para ajustar a curva da corrente em função do tempo:

```
%ajuste polinomial%
clear;
clc;
syms x;
m=input('Entre com o número de pontos,m=');
n=input('Entre com o grau do polinômio,n=');
X=input('Entre com o vetor X=');
Y=input('Entre com o vetor Y=');
A=zeros(m,n+1);
for i=0:n
    A(1:end,i+1)=X.^i;
end
A
```

```

disp('OS PARÂMETROS DO POLINÔMIO SÃO:')
x1=inv(A'*A)*A'*Y
Fx=0;
for j=1:n+1
    Fx=Fx+x1(j)*x^(j-1)
end
disp('Afunção ajustada é:')
Fx
for i=1:m
    YC(i)=subs(Fx,X(i));
end
SQE=(YC'-Y) *(YC'-Y)
YM=sum(Y)/m
for i=1:m
    YMM(i)=YM;
end
YMM
Y
SQT=(YMM-Y') *(YMM-Y')';
disp('O coeficiente de determinação é:');
R2=1-SQE/SQT
%gráfico
plot(X,Y, '*');
hold on figure(1)
plot(X, YC)

```

3.2- Resultado obtido no Matlab:

Entre com o número de pontos, m=11

Entre com o grau do polinômio, n=6

Entre com o vetor X=[0.04;0.06;0.12;0.2;0.28;0.38;0.52;0.8;0.88;1;1.2]

Entre com o vetor Y=[60;80;116;96;100;100;96;88;80;58;20]

$$\begin{aligned}
 Fx = & - (444074266152699*x^6)/68719476736 + (1766142174161063*x^5)/68719476736 - \\
 & (678150355672213*x^4)/17179869184 + (2007655572536025*x^3)/68719476736 - \\
 & (1466546729659347*x^2)/137438953472 + (3829831238386107*x)/2199023255552 + \\
 & 1133399734507579/140737488355328
 \end{aligned}$$

O coeficiente de determinação é: $R^2 = 0.9557$

Dispersão da corrente em função do tempo em um motor de indução trifásico

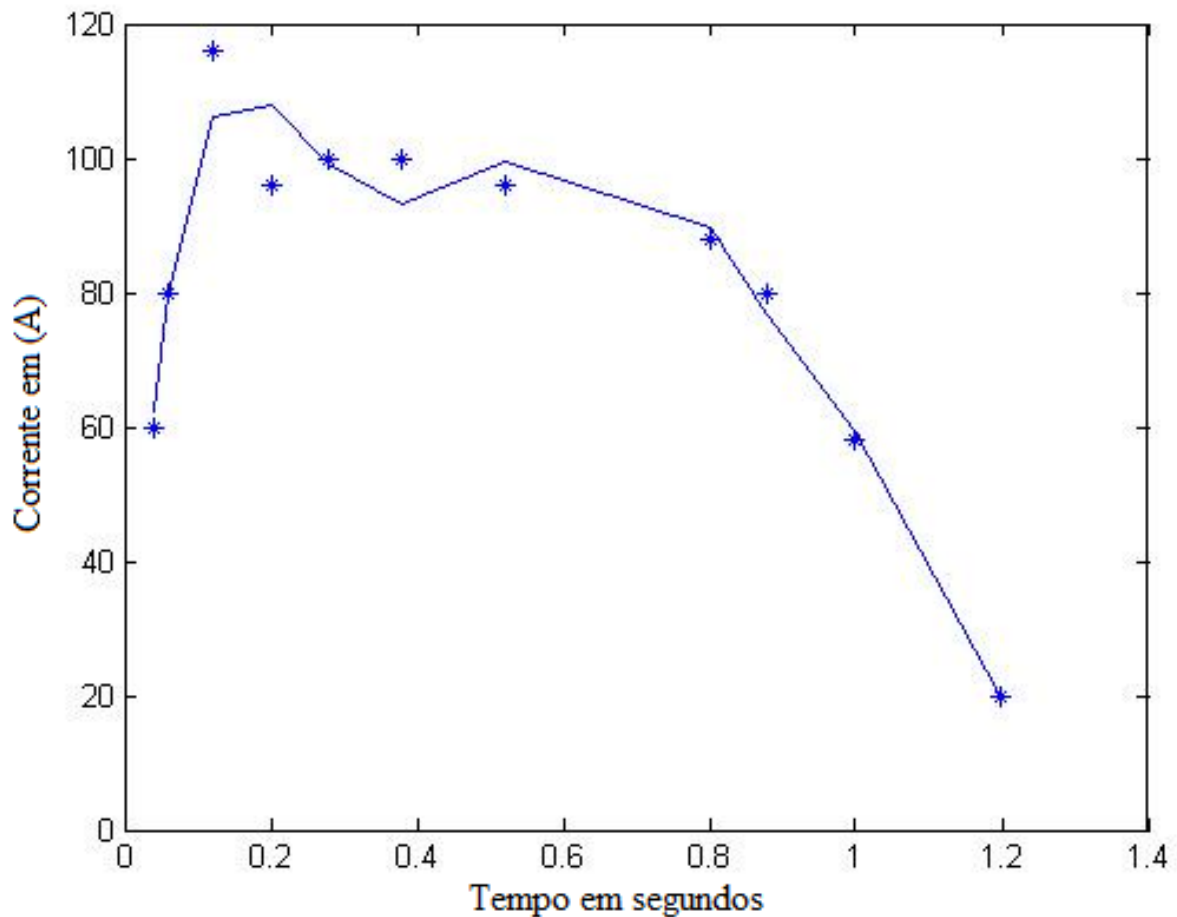


Fig. 08- Diagrama de dispersão

Conforme mostra o gráfico do diagrama de dispersão Fig. 08, a curva ajustada com auxílio do software Matlab, mostra claramente que não passou sobre todos os pontos de referência da curva real Fig.03. O motivo é quando faz um ajuste pelo método de ajustes de curvas, sempre vamos encontrar outra curva que se aproxime o mais perto possível da real, dificilmente vai passar sobre todos os pontos. O resultado obtido é considerado bom, pois o coeficiente de determinação é $R^2 = 0.9557$.

4- CONCLUSÃO

O ideal ao fazer um ajuste de curvas seria encontrar o coeficiente de determinação igual a um, isto significa que a curva ajustada passou sobre todos os pontos. Neste artigo para chegar a um ajuste considerado bom acima de 0,95 com os dados pré-estabelecidos, foi necessário realizar um ajuste polinomial de grau seis, pois só assim conseguimos uma curva que se ajuste o mais próximo da real. A programação do Matlab nos permitiu de uma forma interativa se encontrar o

valor desejado de uma forma mais rápida e precisa, bem como possibilita adquirir com mais facilidade a capacidade de abstração e análise de resultados, agregando um conceito extremamente relevante para a vida profissional, na medida em que melhora a visão sobre resultados obtidos.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kosow, I (2000), “*Máquinas Elétricas e Transformadores*”, Editora Globo.

Leonidas C. Barroso, Magali M. A. Barroso, Frederico F. Campos, Marcio L. B. Carvalho, Miriam L. Maia; Editora Harbra Segunda edição; 1987; “*Cálculo Numérico (com aplicações)*”,

STUART M. WENTWORTH, “*Eletromagnetismo Aplicado*”,

VINCENT DEL TORO, “*Fundamentos de Máquinas Elétricas*”,

<http://pt.scribd.com/doc/10318022/WEG-Manual-de-Motores>

<http://www.ifba.edu.br/professores/castro/MIT.pdf>