

4.12.6 Avaliação da instrumentação utilizada adaptadas ao experimento

Para verificação da bancada, após a instalação do quadro elétrico de controle e proteção, realizou-se a calibração dos transdutores para leitura das grandezas necessárias e conferindo também as ligações entre os diversos componentes do circuito. Todas as grandezas foram programadas para serem registradas com taxa de amostragem de 1kS/s e registro do valor médio a cada 2 segundos, via LabView e cartão de aquisição DaqCard. As medições foram programadas com a tensão da bateria entre 125V e 132V e corrente de carga entre 2A a 40A considerando a corrente inicial de geração até a corrente nominal do gerador quando o mesmo atinge a potência máxima em função do consumo de recarga das baterias como também da carga aplicada pelo banco de resistores.

4.13 Ensaios realizados com a máquina AFPM

Para simulação da máquina utilizou-se as equações já descritas anteriormente onde as principais análises estão relacionadas a tensão de fase na saída do gerador. Em relação à velocidade de rotação da máquina AFPM considerou-se o funcionamento da mesma em vazio e a equação da tensão 4.6 foi empregada.

Em um segundo momento realizou-se o ensaio em vazio como também com carga. A partir dos resultados obtidos foram feitas análises comparativas em relação ao comportamento da máquina AFPM.

4.13.1 Análise do comportamento da tensão.

Para simulação com base no modelo matemático, expresso pela equação 4.6 foram utilizados os dados da Tabela 14 que trata das características do gerador. Entretanto alguns deles merecem esclarecimentos. Os dados da área dos ímãs permanentes consideram toda parte de indução efetiva, isto é a soma das áreas das duas faces que se encontram fixados no rotor. Quanto a indução magnética, o valor apresentado está baseado nas informações fornecidas pelos fabricantes de Neodímios especificamente da empresa Magtek que em sua tabela de especificação apresenta para o tipo N35, empregado no gerador, uma indução remanescente de 1,19 T.

Utilizando a equação 4.6 para análise do comportamento da tensão vale lembrar que o resultado obtido será referente à tensão de pico a pico entre fase e neutro do gerador,

que tem seu enrolamento ligado em estrela. Para completar os resultados obtidos deste modelo matemático é necessário calcular a tensão eficaz entre fase e neutro como também a tensão eficaz entre fase-fase, para isto são utilizadas as equações 4.10, 4.11 e 4.12. Para o valor eficaz da corrente alternada:

$$E_M = \sqrt{2} * E$$

Logo

$$E = \frac{E_M}{\sqrt{2}} \quad (4.10)$$

Onde E_M é a tensão de pico (máxima) e E é a tensão eficaz.

Para um sistema trifásico,

$$V_f = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

Logo

$$V = V_f * \sqrt{3} \quad (4.11)$$

Onde V_f é a tensão eficaz entre fase e neutro e V é a tensão eficaz entre fases.

Desta forma

$$V_f = \frac{E_M}{\sqrt{2}}$$

logo

$$E_M = \frac{E_{fase}}{2} \quad (4.12)$$

Onde E_{fase} é a tensão de pico a pico de fase-neutro, resultante da equação 4.6, E_M é a tensão de pico de fase-neutro e V_f é a tensão eficaz de fase-neutro.

A tensão eficaz entre fases fica:

$$V = V_f * \sqrt{3} \quad (4.13)$$

Onde V é a tensão eficaz entre fases e V_f é a tensão eficaz de fase-neutro.

Na tabela 14 encontram-se os valores calculados das tensões para o gerador GRW 5000 em 10 rotações distintas.

Tabela 14: Valores calculados das tensões para o gerador GRW 5000

Rotação gerador (rad/s)	Rotação gerador (RPM)	Tensão pico a pico fase-neutro	Tensão eficaz fase-neutro	Tensão eficaz fase-fase
(ω)	(ω)	(V)	(V)	(V)
9,27	88,49	125,1	44,23	76,61
11,71	111,86	158,14	55,91	96,84
14,06	134,23	189,76	67,09	116,21
16,4	156,6	221,39	78,27	135,57
18,74	178,97	253,01	89,45	154,94
21,08	201,34	284,64	100,63	174,3
23,43	223,71	316,26	111,82	193,67
25,77	246,09	347,9	123	213,05
30,46	290,83	411,15	145,36	251,78
32,8	313,2	442,78	156,55	271,14

A figura 83 retrata de forma gráfica os resultados das tensões de pico a pico referente a equação 4.6, as tensões eficazes de fase para neutro referente a equação 4.11 e as tensões eficazes entre fases referentes a equação 4.12

4.14 Análise do comportamento da tensão em vazio através de simulação em bancada

Os resultados obtidos nos ensaios utilizando a bancada de teste com gerador em vazio, estão na tabela 15. Estes dados consistem na medição de tensão eficaz, fase-fase, na saída da máquina AFPM e tensão DC na saída da fonte retificadora, após variação da rotação do motor de indução. As rotações da máquina foram medidas em rpm através do sistema de aquisição de dados Labview 7.1 sendo a tabela 15 um resumo dos resultados obtidos neste teste, já que foram realizadas noventa e seis medições em intervalos de três segundos entre cada uma delas.

Os resultados obtidos em vazio permitem algumas observações importantes:

- Necessidade de comparação e validação dos valores apresentados, anteriormente em relação à tensão na tabela 14

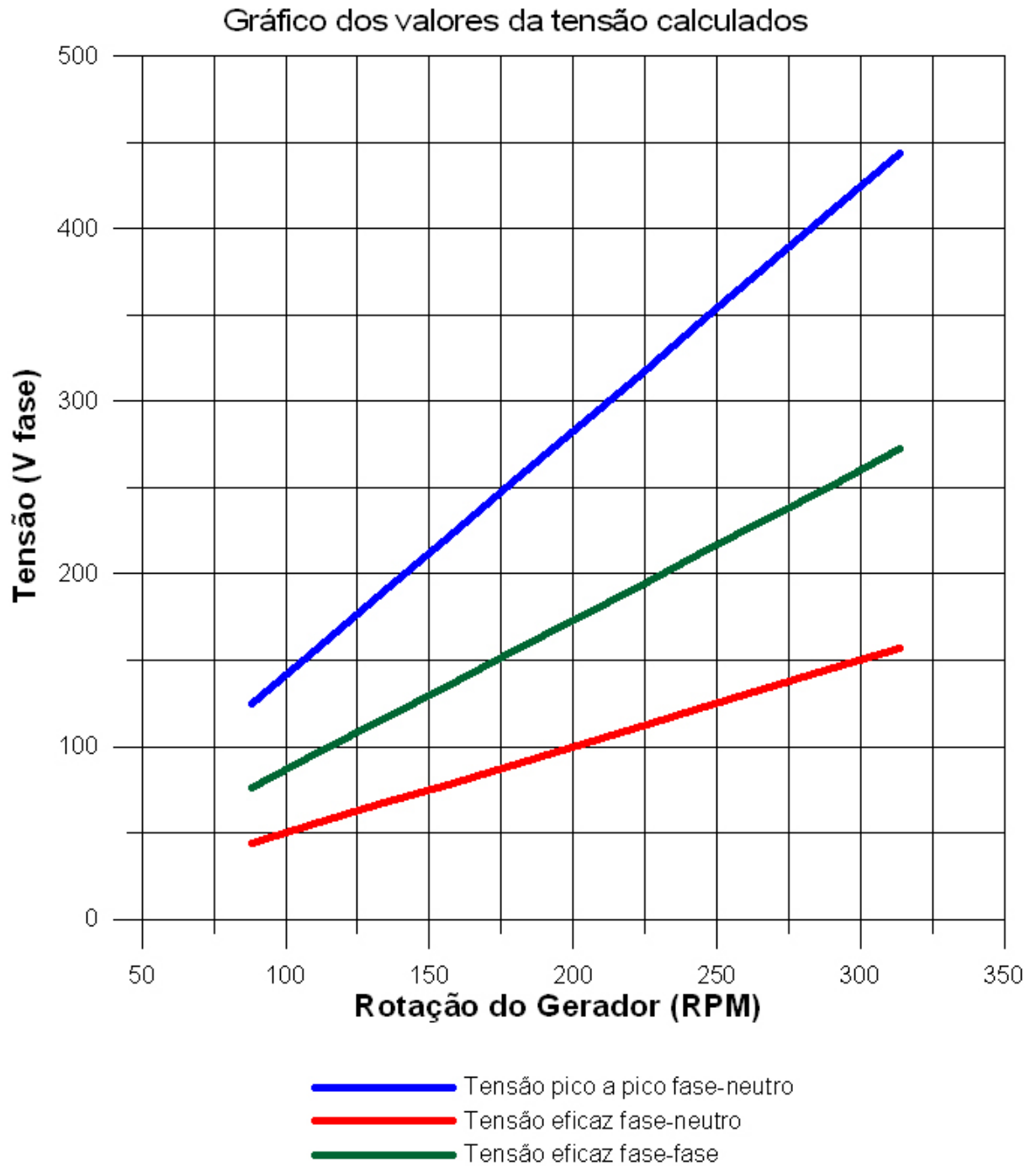


Figura 83: Gráfico dos valores da tensão calculada em função da rotação. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

- Necessidade de verificar a partir de que rotação inicia-se o processo de geração de energia.
- Necessidade de verificar a rotação mínima capaz de iniciar o processo de transferência de energia na saída do retificador para recarga do banco de baterias.

Tabela 15: Resultados obtidos a partir da simulação experimental em bancada

Rotação motor (<i>RPM</i>)	Rotação gerador (<i>RPM</i>)	Tensão DC (V)	Tensão eficaz fase-fase (V)	Tensão eficaz fase-neutro (V)	Tensão pico fase-fase (V)	Tensão pico fase-neutro (V)	Tensão pico a pico fase-neutro (V)
400	89,49	94	68	43,29	96,17	61,22	122,44
500	111,86	112	85	54,11	120,21	76,53	153,05
600	134,23	132	96	61,12	135,76	86,43	172,86
700	156,6	153	112	71,30	158,39	100,84	201,67
800	178,97	174	128	81,49	181,02	115,24	230,48
900	201,34	196	144	91,67	203,65	129,65	259,29
1000	223,71	217	159	101,22	224,86	143,15	286,30
1100	246,09	238	175	111,41	247,49	157,56	315,11
1200	268,46	260	191	121,59	270,11	171,96	343,92
1300	290,83	282	208	132,42	294,16	187,27	374,53
1400	313,2	303	223	141,97	315,37	200,77	401,54

A figura 84 representa graficamente os resultados obtidos experimentalmente.

A figura 85 apresenta graficamente a comparação entre as tensões calculadas e as obtidas em testes de bancada. O gráfico demonstra a coerência das tensões de pico a pico por fase e também a tensão eficaz fase-fase. É importante lembrar que o resultado obtido para as colunas da tabela 14 considerou uma indução magnética de 1,19T. Todavia caso fosse utilizado o valor de 0,8T, as tensões obtidas em bancada e as calculadas através da equação 4.6 adquirem valores mais próximos.

4.15 Análise do comportamento da tensão com carga através de ensaios em bancada

Para as cargas foram utilizados resistores na saída da ponte retificadora. O chaveamento para obtenção das cargas em cada fase dos ensaios está representado na figura 86.

Os resultados obtidos nos ensaios utilizando a bancada de testes, com carga resistiva,

estão nas tabelas 16, 17 e 18, cada uma delas apresenta os testes com cargas resistivas diferentes entre si. As grandezas elétricas apresentadas nas tabelas são as seguintes:

- Tensão eficaz fase-fase nos terminais de saída da máquina AFPM em volt;
- Tensão de pico fase-fase nos terminais de saída da máquina AFPM em volt;
- Tensão DC na saída da fonte retificadora em volt;
- Corrente AC nos terminais de saída da máquina AFPM em A;
- Corrente DC na saída da ponte retificadora em A;

No primeiro conjunto de testes realizados com carga, foi ligado apenas o banco de resistores, ficando o banco de baterias isolado do sistema. Assim, além das tensões obteve-se a partir destas grandezas a potência elétrica para cada rotação. As duas colunas nas tabelas referentes à rotação correspondem às rotações do motor de indução e a rotação obtida no rotor da máquina AFPM.

Tabela 16: Ensaio em bancada com carga resistiva 1

R1 em série com R2 igual a 11 ohms - 240V - 4,5kW (valor estimado)							
Rotação motor (RPM)	Rotação gerador (RPM)	Tensão fase-fase (V)	Tensão pico (V)	Tensão DC (V)	Corrente (A)	Corrente (A)	Potência (W)
400	89,49	61,1	86,4	81,0	5,7	6,3	510,3
500	111,11	76,2	107,8	100,0	7,0	7,3	730,0
600	133,3	91,0	128,7	120,0	8,1	9,8	1176,0
700	155,6	105,0	148,5	139,0	9,5	11,5	1598,5
800	177,8	120,0	169,7	158,0	10,8	12,7	2006,6
900	200,0	134,0	189,5	177,0	12,0	14,4	2548,8
1000	222,2	148,0	209,3	195,0	13,2	16,0	3120,0
1100	244,4	162,5	229,8	213,0	14,5	18,0	3834,0
1200	266,7	176,2	249,2	231,0	15,5	19,7	4550,7
1300	288,9	187,5	265,2	240,0	16,1	20,8	4992,0

As figuras 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94 e 95, mostram os gráficos referentes as tabelas anteriores.

Tabela 17: Ensaio em bancada com carga resistiva 2

R1 e R2 em paralelo iguais a $6 \bar{U} - 240 \text{ v} - 9,6 \text{ kW}$ (valor estimado)							
Rotação motor (RPM)	Rotação gerador (RPM)	Tensão fase-fase (V)	Tensão pico (V)	Tensão DC (V)	Corrente (A)	Corrente (A)	Potência (W)
400	89,49	57,0	80,6	74,0	10,0	12,6	932,4
500	111,11	70,5	99,7	92,0	12,2	14,6	1343,4
600	133,3	83,8	118,5	110,0	14,3	17,8	1958,0
700	155,6	97,0	137,2	127,0	16,3	20,3	2578,1
800	177,8	109,0	154,1	143,0	18,4	23,5	3360,5
900	200,0	122,0	172,5	160,0	20,4	26,0	4160,0
1000	222,2	134,0	189,5	176,0	22,1	27,9	4910,4
1100	244,4	145,0	205,1	190,0	23,9	30,7	5833,0

Tabela 18: Ensaio em bancada com carga resistiva 3

R1, R2 e R3 em paralelo iguais a $4 \bar{U} - 240 \text{ v} - 14 \text{ kW}$ (valor estimado)							
Rotação motor (RPM)	Rotação gerador (RPM)	Tensão fase-fase (V)	Tensão pico (V)	Tensão DC (V)	Corrente (A)	Corrente (A)	Potência (W)
400	89,49	51,7	73,1	68,0	14,0	17,0	1156,0
500	111,11	64,1	90,7	83,0	16,9	20,7	1718,1
600	133,3	75,6	106,9	98,0	19,8	22,5	2205,0
700	155,6	86,9	122,9	113,0	22,5	28,7	3243,1
800	177,8	96,9	137,0	126,0	25,0	31,9	4019,4
900	200,0	106,0	149,9	139,0	27,2	35,3	4906,7

4.16 Resultados obtidos nos ensaios para recarga do banco de baterias

Os resultados obtidos nos ensaios utilizando a bancada de testes para recarga do banco de baterias, estão na tabela 19 para os quais as cargas resistivas foram desligadas. As grandezas apresentadas nas tabelas são as seguintes:

- Tensão DC na saída da ponte retificadora em volt;
- Corrente DC na saída da ponte retificadora em A;
- Rotação da máquina AFPM em rpm e rd/s;
- Força em kgf exercida em uma alavanca de 0,95m para obtenção do torque em N.m;
- Potência elétrica em W;

- Potência mecânica em W;
- Rendimento da máquina AFPM em %.

Tabela 19: Ensaio em bancada com o sistema realizando a recarga das baterias com o gerador GRW5000.

Rotação <i>rd/s</i>	Rotação (<i>RPM</i>)	Força kgf.m	Tensão DC (V)	Corrente (A)	Potência elétrica (W)	Potência mecânica (W)	Rendimento (%)
10,47	100	0,5	126,7	0,2	25,34	48,77	52
11,51	110	1,0	126,8	0,7	88,76	107,29	83
12,35	118	4,5	128,0	3,0	384,00	517,92	74
13,56	130	11,5	129,9	7,9	1026,21	1453,68	71
14,65	140	18,5	131,9	12,9	1701,51	2526,18	67
15,83	151	24,5	134,0	18,0	2412,00	3613,12	67
17,04	163	31,0	136,4	22,9	3123,56	4922,44	63
18,17	174	37,0	138,6	27,6	3825,36	6264,93	61
19,26	184	43,0	140,4	32,1	4506,84	7717,04	58
20,31	194	48,0	142,6	36,7	5233,42	9082,55	58
21,35	204	53,0	144,5	41,0	5924,50	10545,59	56

Cabe esclarecer que os valores de rendimento apresentados nos ensaios realizados em bancada, diz respeito à relação entre a potência mecânica de entrada no eixo do rotor e a potência elétrica fornecida pelo gerador GRW5000. As figuras 96, 97, 98 e 99 a seguir, mostram os gráficos referentes a 19.

Vale lembrar que os rendimentos obtidos nos ensaios demonstrados nas Tabelas 19, 20 e 21 ultrapassam o limite teórico de 59,3% visto que o motor de indução foi utilizado em lugar das pás, ou seja, o rendimento considerado é exclusivamente da máquina AFPM GRW5000.

4.17 Avaliação de resultados obtidos

Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados podem ser divididos em três partes primeiro as comparações de tensões geradas na máquina AFPM GRW 5000 em vazio, segundo a análise dos resultados obtidos com a máquina AFPM GRW5000 com carga resistiva e o banco de baterias desligado do sistema e por fim a análise realizada com a máquina AFPM GRW5000 funcionando em processo de recarga do banco de baterias.

4.17.1 Resultados obtidos em vazio

Constata-se coerência entre os valores calculados da tensão em relação aos ensaios realizados em bancada. O valor dos cálculos não considera, as perdas elétricas e magnéticas.

A máquina analisada apresenta resultado satisfatório visto que a partir de 70 rpm já começa a gerar tensão elétrica. A rotação mínima capaz de iniciar o processo de transferência de energia na saída do retificador para recarga do banco de baterias foi de 134 rpm gerando uma tensão de 132 V.

4.17.2 Resultados obtidos com resistores e banco de baterias acoplado

Esta parte do experimento retrata o funcionamento real do sistema. Sendo assim, é apresentada uma avaliação resumida dos resultados obtidos neste teste. A análise será feita em quatro partes:

- Avaliação do desempenho térmico da máquina AFPM GRW5000 durante o funcionamento em bancada.
- Análise da variação das tensões.
- Análise das variações das correntes.
- Avaliação do rendimento da máquina AFPM em relação à carga aplicada.

Para melhor entendimento desta parte do trabalho está rerepresentada abaixo a figura 100, que demonstra o circuito de potência da bancada de testes com o conjunto dos seus dispositivos.

4.17.3 Avaliação do desempenho térmico da máquina AFPM GRW5000

O superaquecimento pode ocasionar danos irreparáveis ao enrolamento da máquina como também aos ímãs de neodímios. Conforme mencionado anteriormente, estes não suportam temperaturas acima de 100°C. Através da tabela 20 pode-se perceber o desempenho térmico da máquina AFPM GRW5000. Ao Funcionar aproximadamente durante dez minutos com rotações entre 113 e 140 rpm a alteração de temperatura foi pequena

e variou entre 28°C e 32°C. A elevação da temperatura é mais significativa após permanecer funcionando durante aproximadamente quarenta e cinco minutos a uma rotação de 148 rpm quando então a mesma chega a 55°C, como também após mais uma hora de funcionamento, a uma rotação média de 167 rpm em que atinge 98°C. Estes valores não representam perigo capaz de causar dano à máquina porque acontecem no estator, considerando que o rotor está em movimento a temperatura do mesmo é bem menor. Quando o gerador estiver funcionando acionado pelo vento a dissipação de calor será ainda maior conseqüentemente estes níveis de temperatura para os mesmos níveis de potência se reduzem. Estes resultados comprovam a possibilidade de funcionamento da máquina a temperaturas mais altas, conforme apresenta a tabela 20 em que apesar das temperaturas mais elevadas o rendimento da máquina é satisfatório.

Tabela 20: Resumo dos resultados obtidos no gerador com carga R1 acoplado às baterias

Duração	Rotação gerador (RPM)	Tensão CC (V)	Corrente Icc carga (A)	Corrente Bateria (A)	Potência elétrica (W)	Potência mecânica (W)	Rend. (%)	Temp. Estator (C)
00:01:58	113	126,4	4,6	4,6	587,1	842,7	69,7	28,7
00:05:50	127	129,0	9,2	9,2	1181,2	1509,7	78,2	29,0
00:09:54	140	130,2	17,8	5,7	2318,4	3110,2	74,5	31,3
00:56:26	148	131,0	16,6	4,5	2181,0	2870,5	76,0	55,0
00:58:00	160	129,4	26,8	2,6	3469,0	5109,8	67,9	56,9
01:52:36	167	125,5	22,1	-1,4	2770,3	4185,8	66,2	98,6

4.17.4 Análise da variação das tensões

A tensão nos terminais do gerador aumenta com a velocidade de rotação em vazio quando a carga é passiva constituída de uma impedância constante. Todavia, isto não é o caso quando o gerador opera para recarregar um banco de baterias, pois este impõe valores constantes de tensão, nos terminais do gerador e na saída da fonte retificadora, obtendo-se uma tensão estabilizada independentemente da rotação.

Observando a tabela 20 onde o ensaio é realizado com apenas com a carga 1 do banco dos resistores, constata-se acima da potência de 3,5 kW a 160 rpm há uma queda de tensão. Pode-se deduzir que a causa principal deste efeito é a elevação da temperatura, pois a queda de tensão torna-se mais significativa quando a temperatura do estator atinge o maior valor obtido que é 98°C.

Na Tabela a tabela 21 que apresenta um resumo dos testes realizados durante aproxi-

madamente oito minutos, com rotações entre 120 rpm e 185 rpm e uma carga de dois resistores de 10 ligados em paralelo a tensão evolui normalmente de acordo com a da rotação do gerador. Outro fato importante observado é o fato da diferença das tensões AC e DC permanecerem equilibradas durante todo este ensaio.

Tabela 21: Resumo dos resultados obtidos no gerador com carga R2 acoplado às baterias

Tempo	Rotação gerador (RPM)	Tensão AC (V)	Tensão DC (V)	Corrente Icc carga (A)	Corrente Bateria (A)	Pot. elétrica (W)	Pot. mec. (W)	Rend. (%)	Temp. Estat. (C)
00:00	120	96,7	128,2	3,1	3,1	396,4	427,2	93	47
00:38	119	96,8	128,5	2,8	2,8	359,2	435,4	82	47
01:28	125	99,3	130,5	5,0	4,9	646,5	778,6	83	48
03:14	145	103,7	131,5	17,2	4,9	2255,9	2838,1	79	47
04:06	156	102,8	128,7	25,7	1,5	3302,9	4476,1	74	48
05:54	169	103,0	127,2	33,2	0,4	4219,6	6219,7	68	53
06:42	175	104,3	128,6	35,3	2,2	4539,4	6776,7	67	55
06:48	179	105,2	129,5	37,3	4,0	4827,5	7274,3	66	56
07:16	179	105,3	129,5	36,3	3,0	4698,2	7147,9	66	58
07:22	184	106,6	130,7	38,8	5,2	5073,0	7719,4	66	60
07:24	185	106,5	130,8	38,8	5,2	5079,2	7761,7	65	61
07:28	185	106,7	130,9	38,8	5,2	5082,5	7843,0	65	61

4.17.5 Análise das variações das correntes

Num gerador eólico a tensão nos terminais do gerador e o consumo, que é igual a corrente de recarga das baterias mais a carga de consumo de energia, variam aleatoriamente. Como a disponibilidade de energia é consequência da velocidade do vento, há necessidade de absorver o excesso de energia para limitar a velocidade de rotação das pás. Assim o gerador eólico tem que funcionar com carga de forma que os valores destas seja próximo ao nominal ou com cargas elevadas quando opera com ventos em alta velocidade. Como já dito anteriormente a corrente elétrica elevada causa perdas significativas de potência porque altera a resistência do enrolamento em consequência do aumento de temperatura. Na a análise das correntes obtidas durante os ensaios em bancada concluímos que o comportamento destas mantiveram-se estáveis até a potência máxima testada.

4.17.6 Avaliação do rendimento em relação à carga aplicada

Na tabela 21 a penúltima coluna apresenta o rendimento que comporta-se de forma decrescente até quando o gerador aproxima-se da sua potência de 5kW a 184 rpm, atin-

gindo nesta situação o seu menor rendimento que é de 66%, se comparado ao ensaio realizado sem carga resistiva, isto é, apenas em recarga das baterias, conforme pode ser constatado na tabela 20, para a mesma rotação verifica-se um melhor rendimento quando o gerador funciona com o banco de baterias e resistores acoplados ao sistema.

Para melhores análises do rendimento seria necessário dar continuidade aos testes aplicando cargas mais elevadas. Isto não foi possível porque até o presente momento não foram ainda concluídas as mudanças necessárias na bancada para obtenção de um torque maior, isto é, aumentando a relação de transmissão, que possibilitaria levar o motor de indução a sua potência máxima potência de 13kW a 1480rpm.

Apesar do acima exposto os testes realizados permitiram avaliar de forma satisfatória o rendimento da máquina AFPM GRW5000.

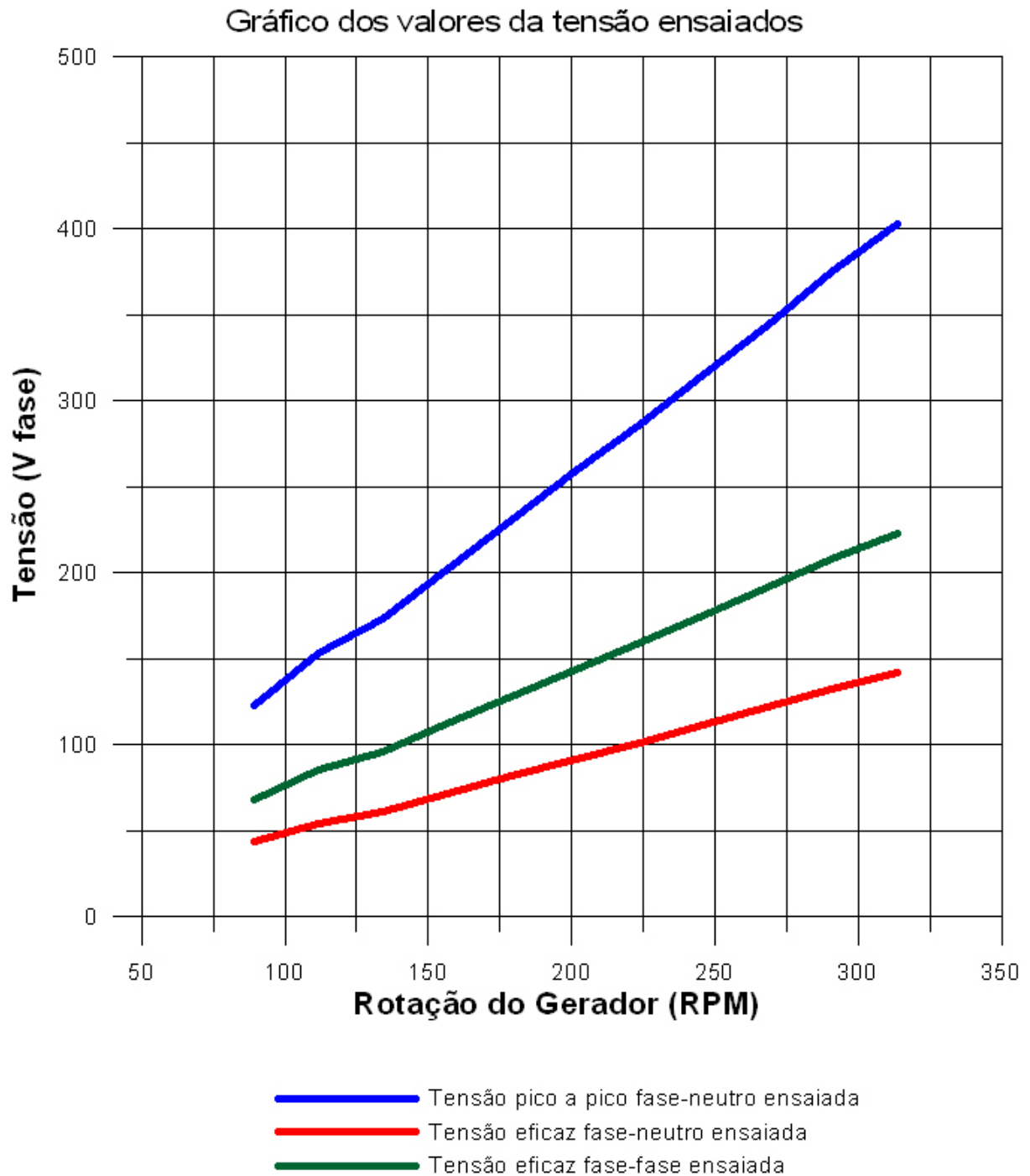


Figura 84: Gráfico dos valores experimentais obtidos em vazio. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

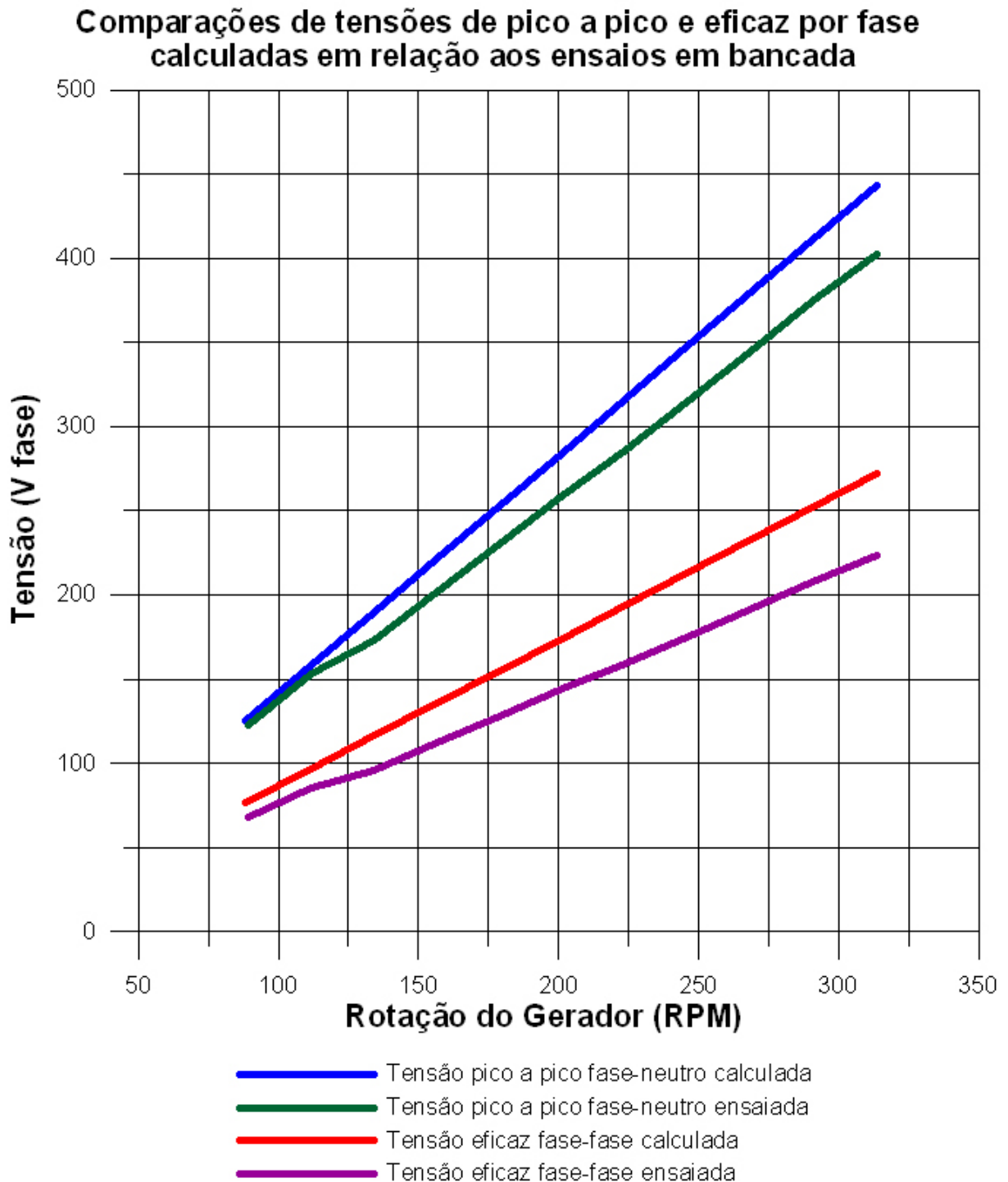


Figura 85: Gráfico da comparação de tensões entre os valores calculados e ensaiados em bancada. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

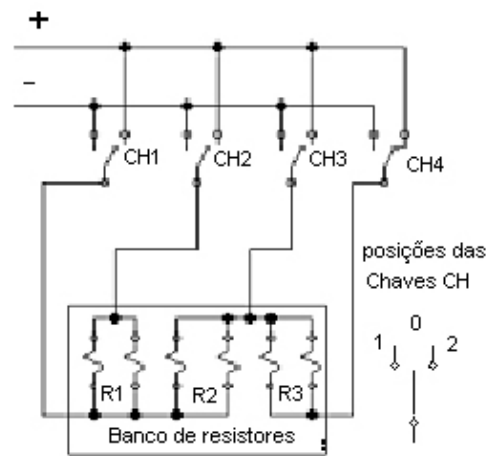


Figura 86: Circuito do banco de resistores. (COSTA, 2007.)

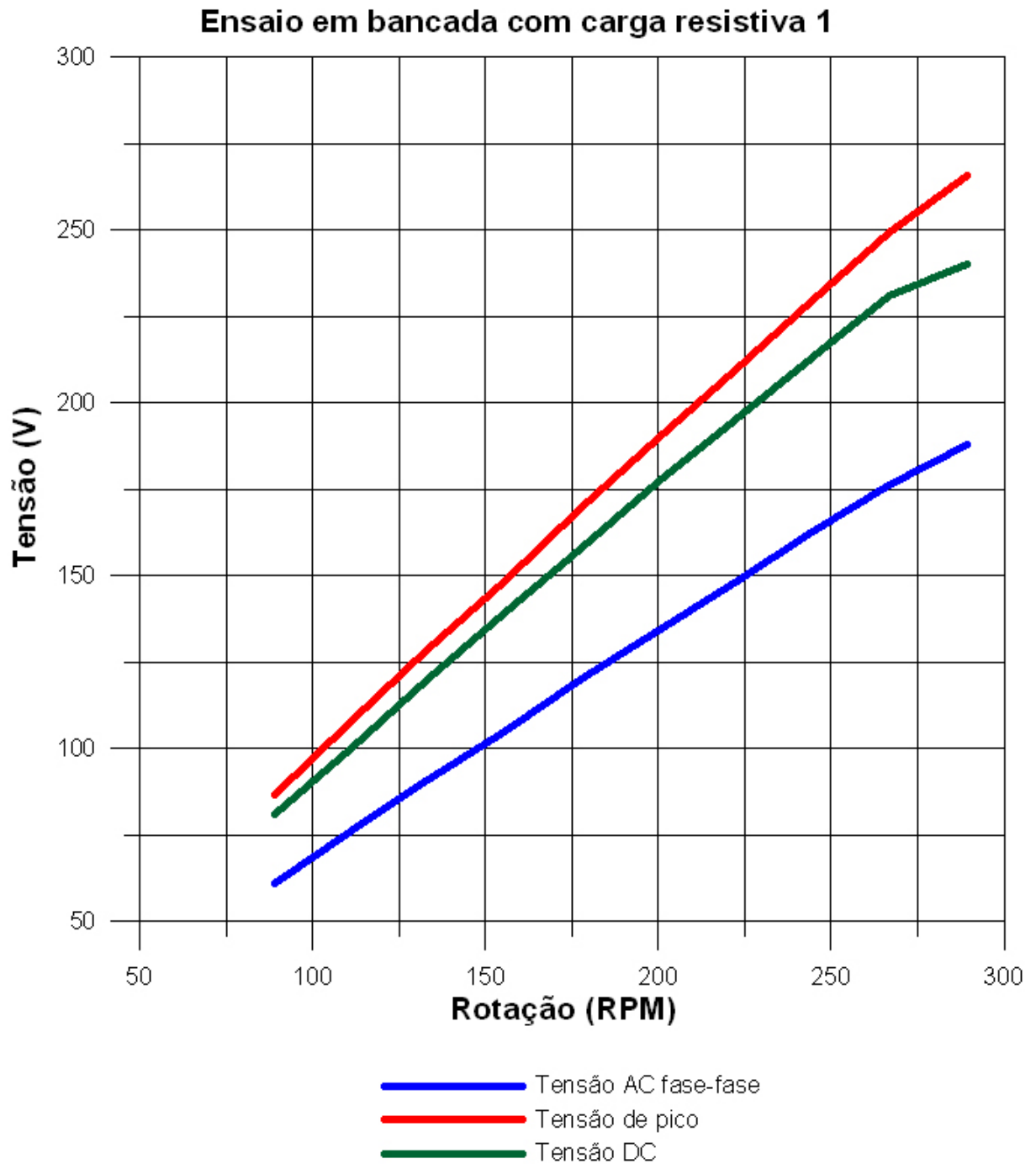


Figura 87: Gráfico Tensão x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 1. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

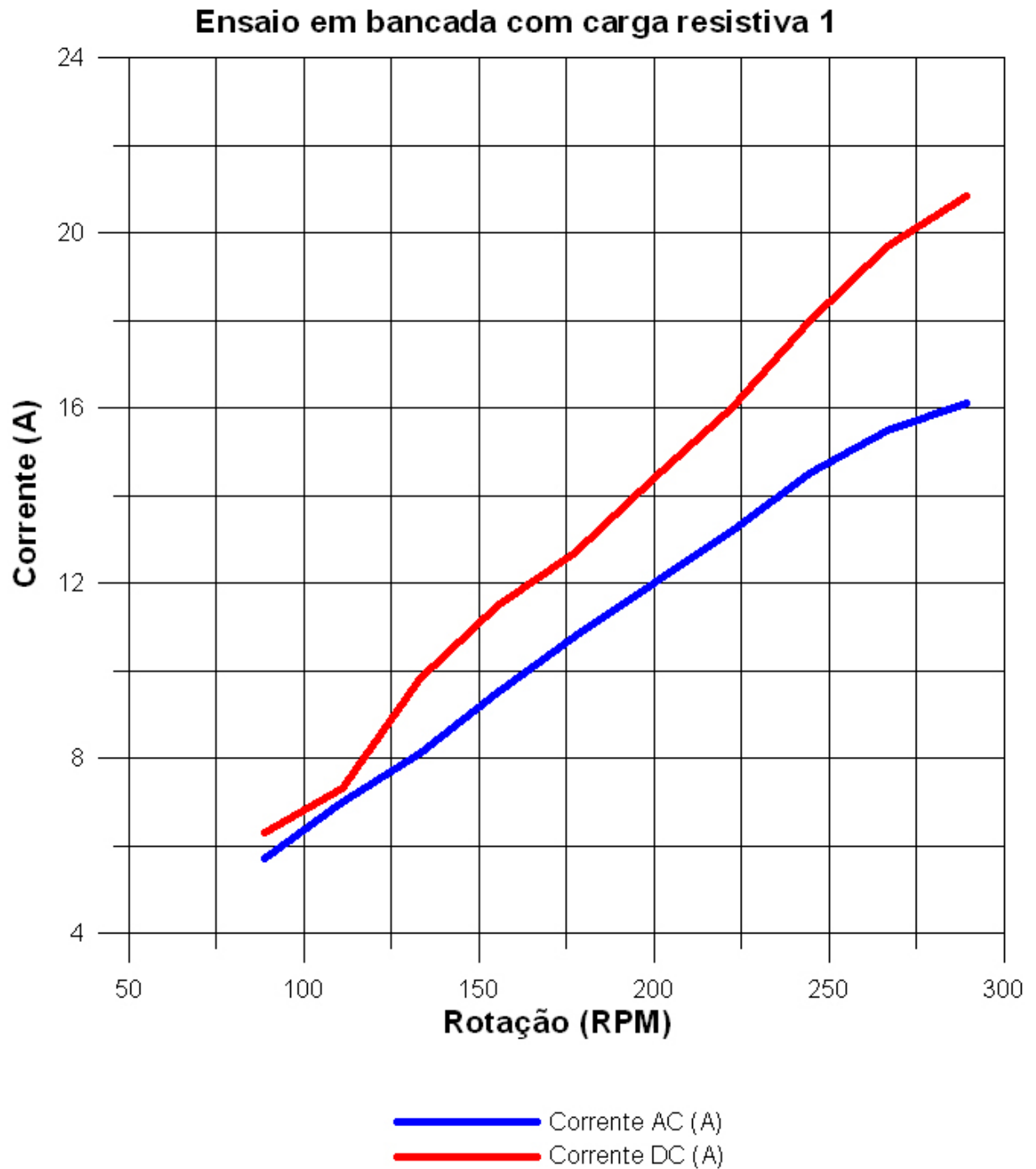


Figura 88: Gráfico Corrente x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 1.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

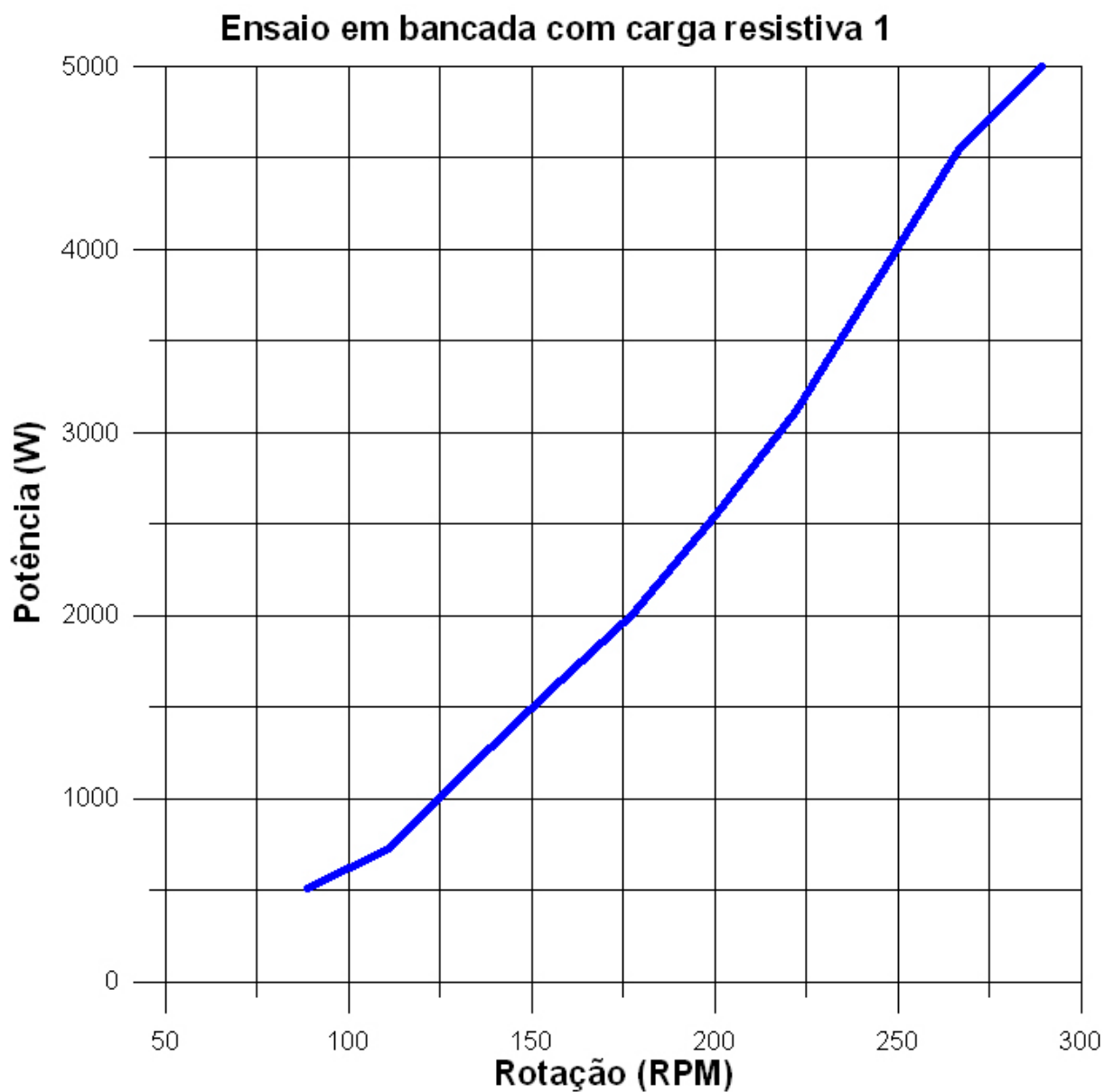


Figura 89: Gráfico Potência x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 1.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

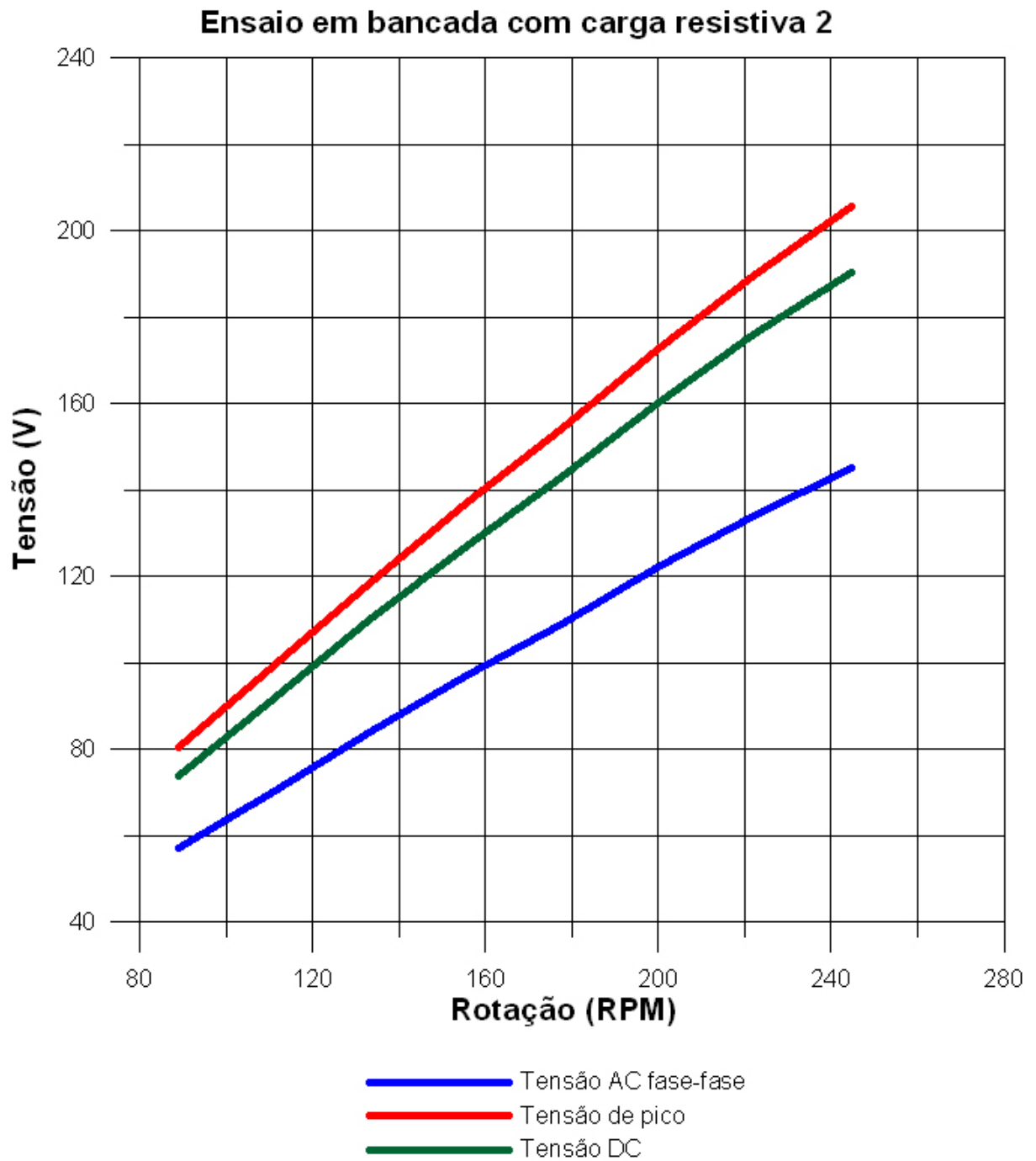


Figura 90: Gráfico Tensão x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 2. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

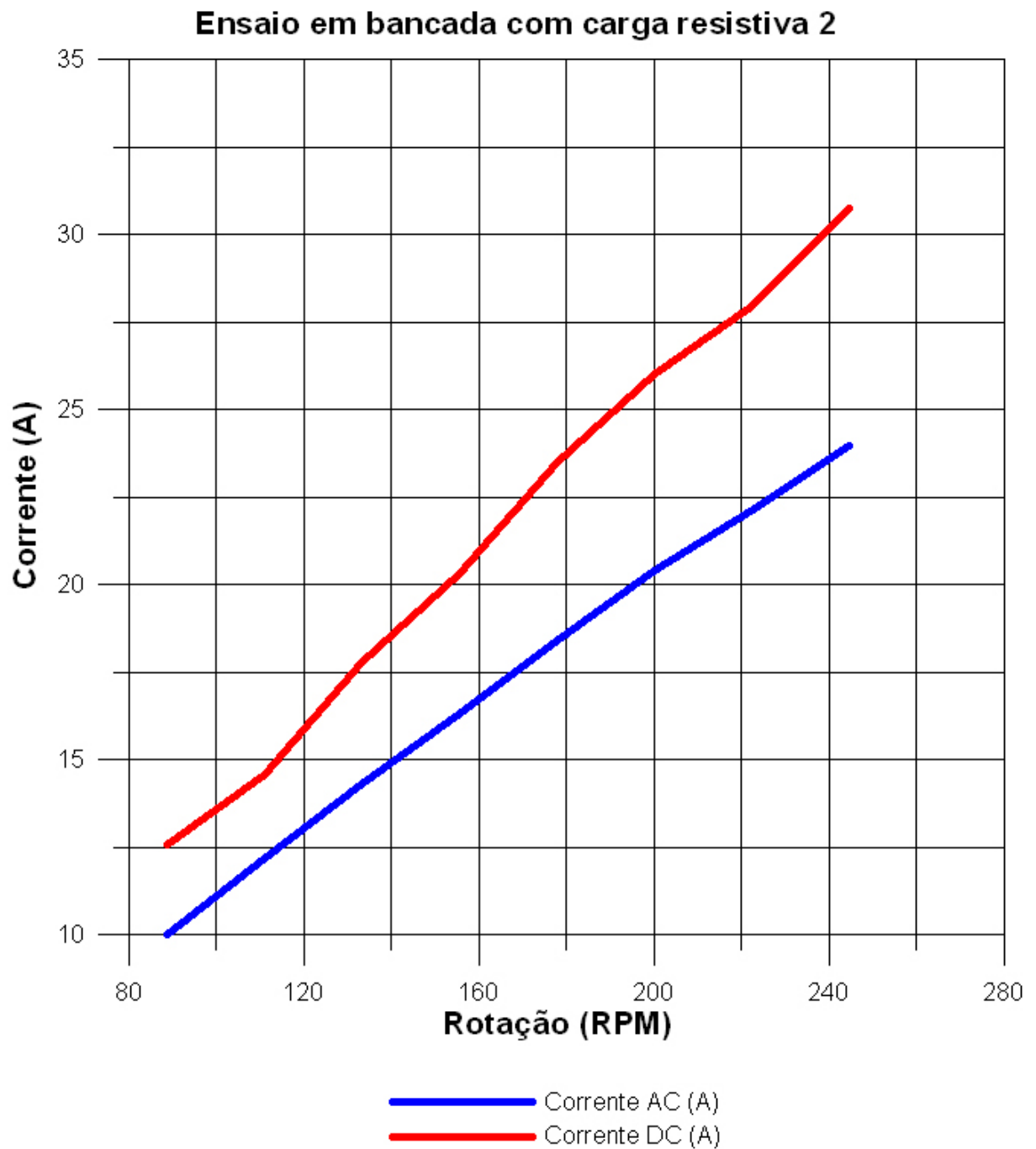


Figura 91: Gráfico Corrente x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 2. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)



Figura 92: Gráfico Potência x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 2.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

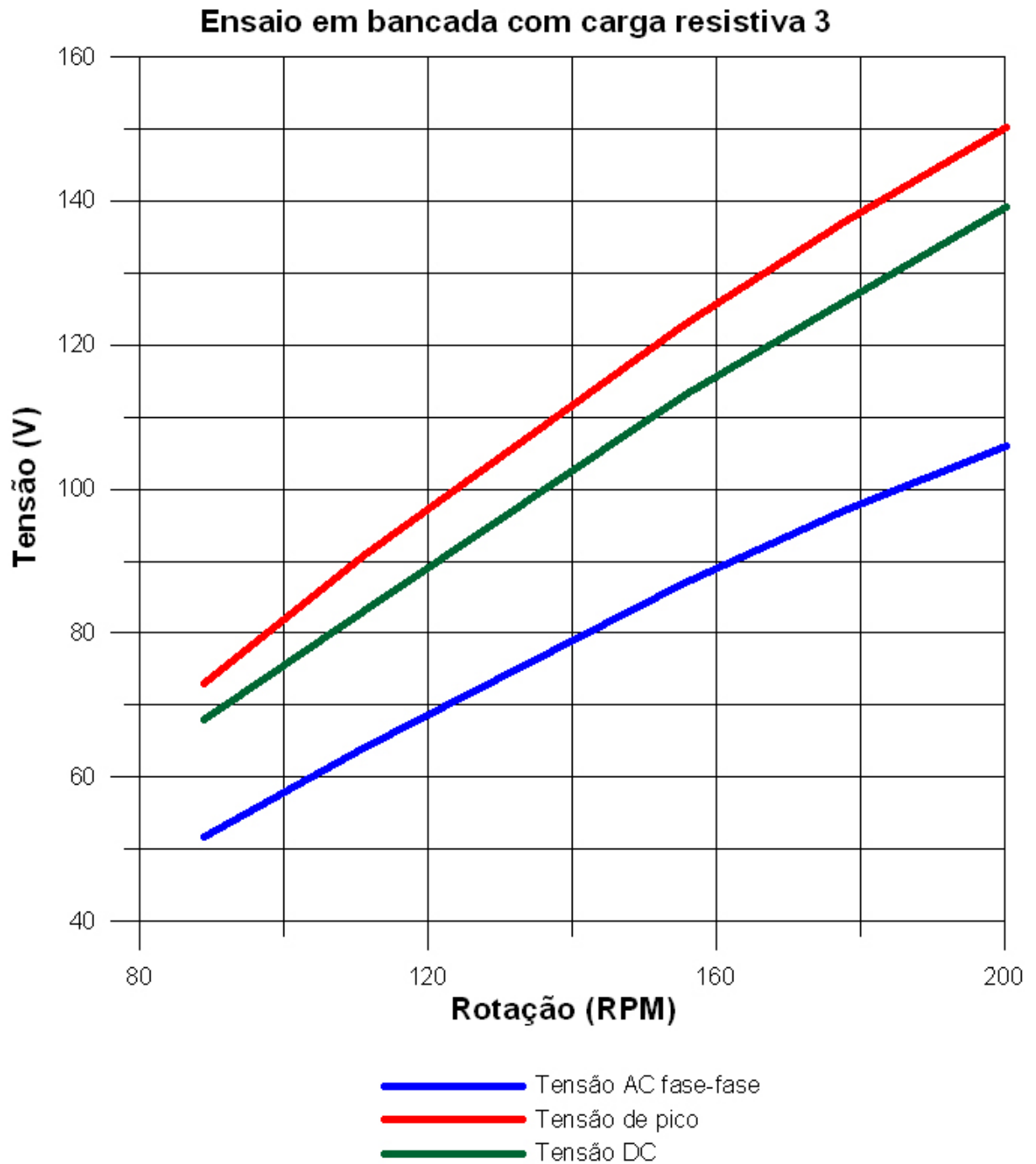


Figura 93: Gráfico Tensão x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 3. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

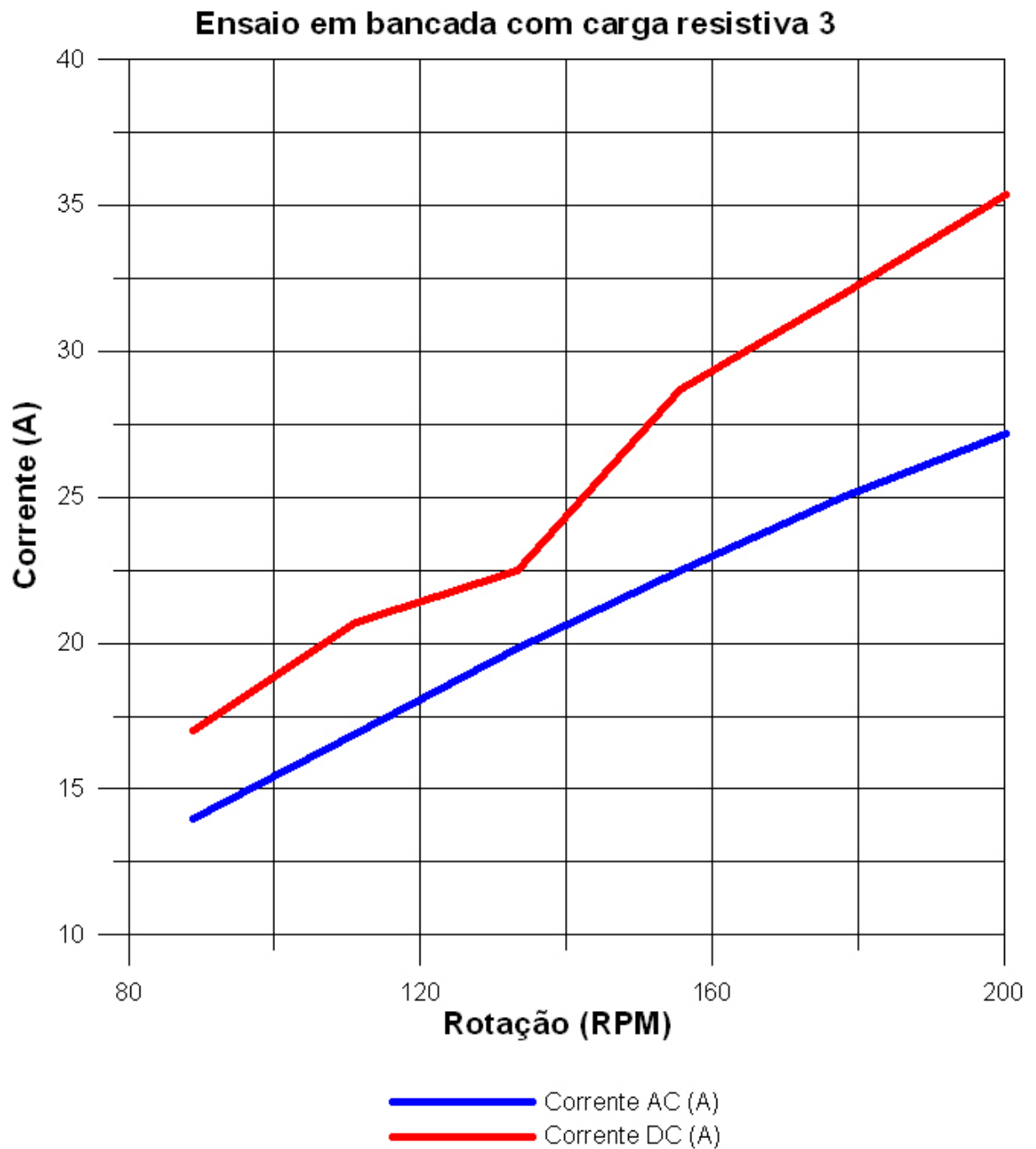


Figura 94: Gráfico Corrente x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 3.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

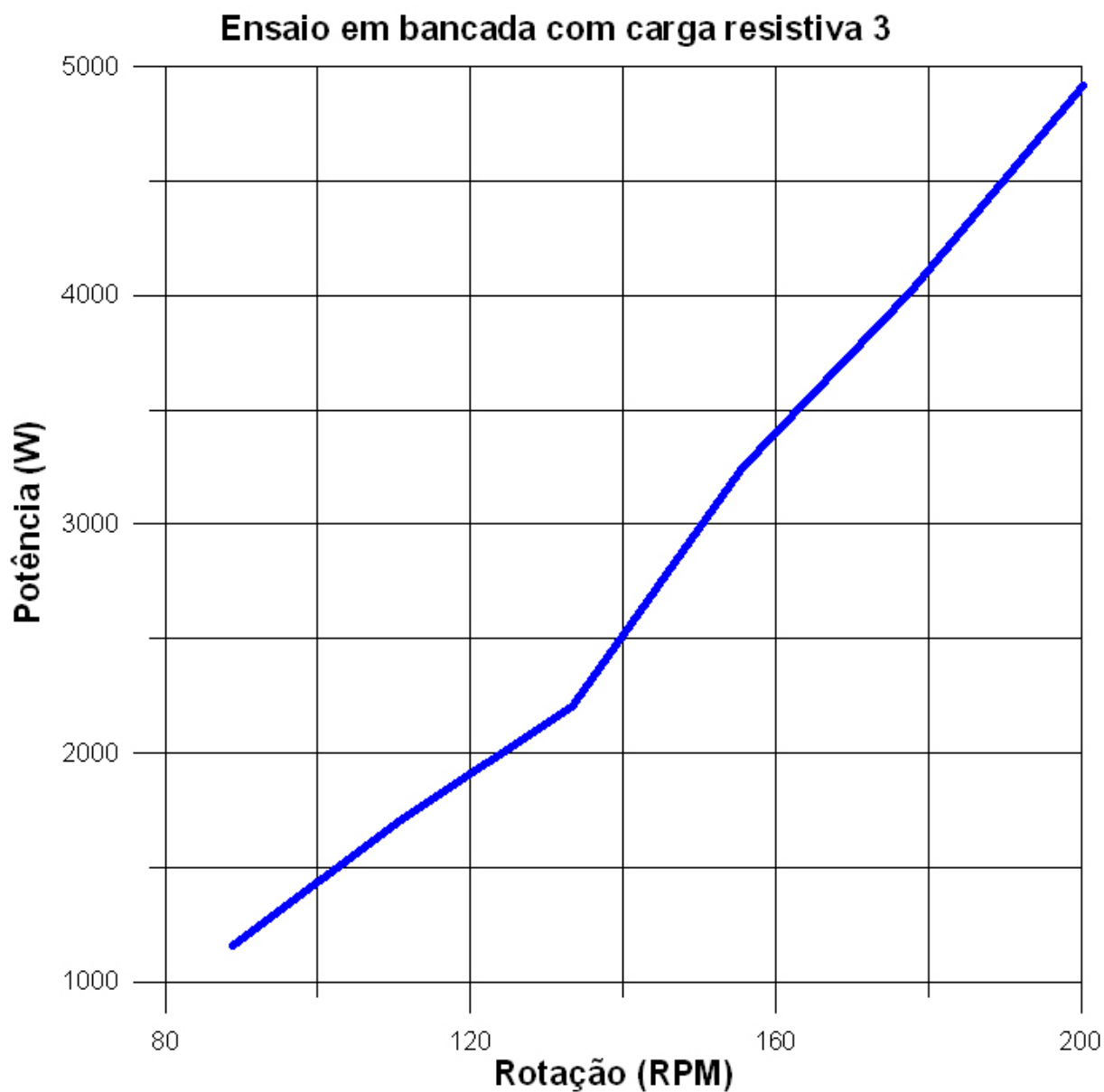


Figura 95: Gráfico Potência x RPM do ensaio em bancada com carga resistiva 3. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

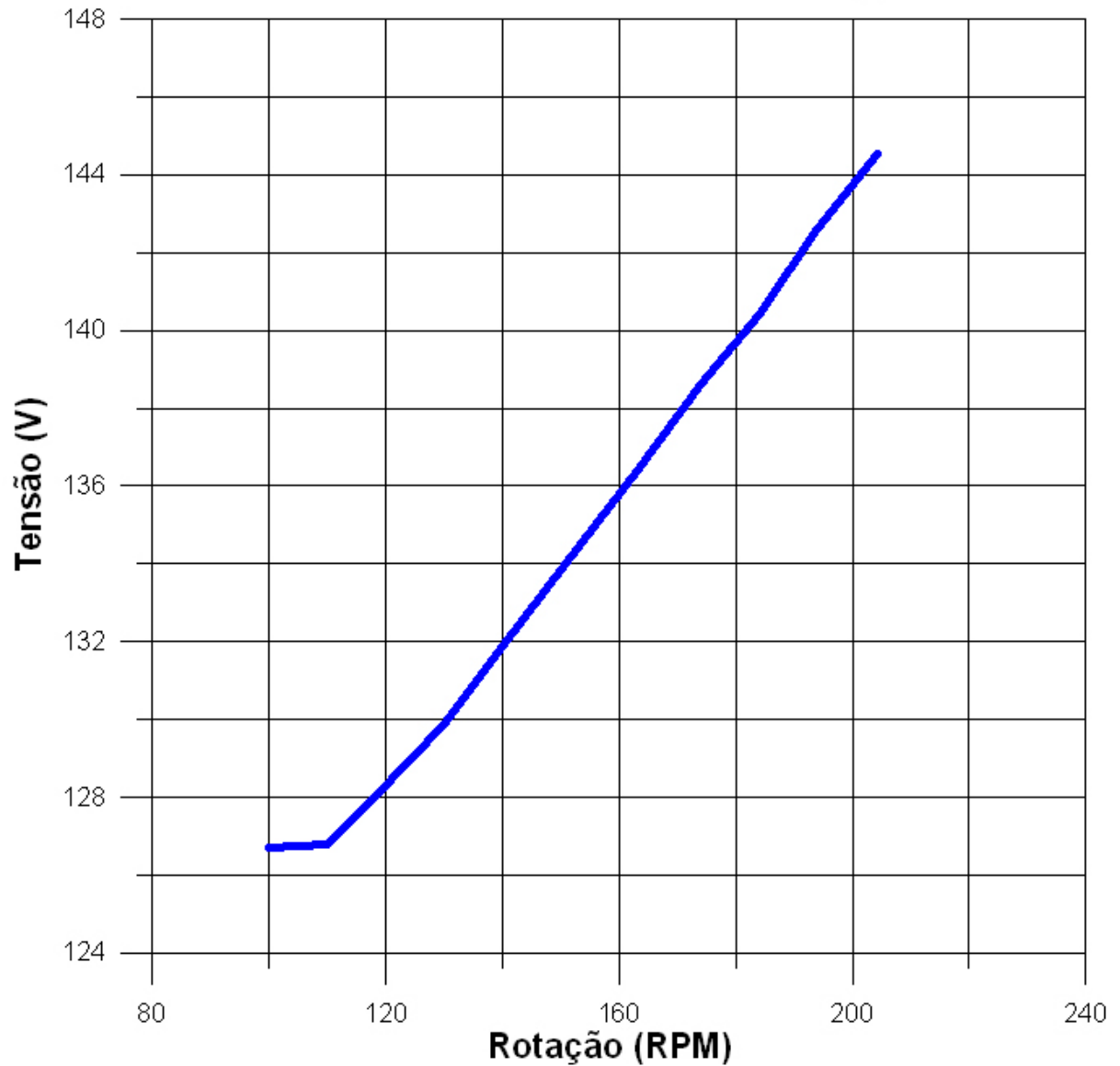
Ensaio em bancada com o sistema realizando recarga das baterias

Figura 96: Gráfico Tensão x RPM do ensaio em bancada carregando as baterias.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

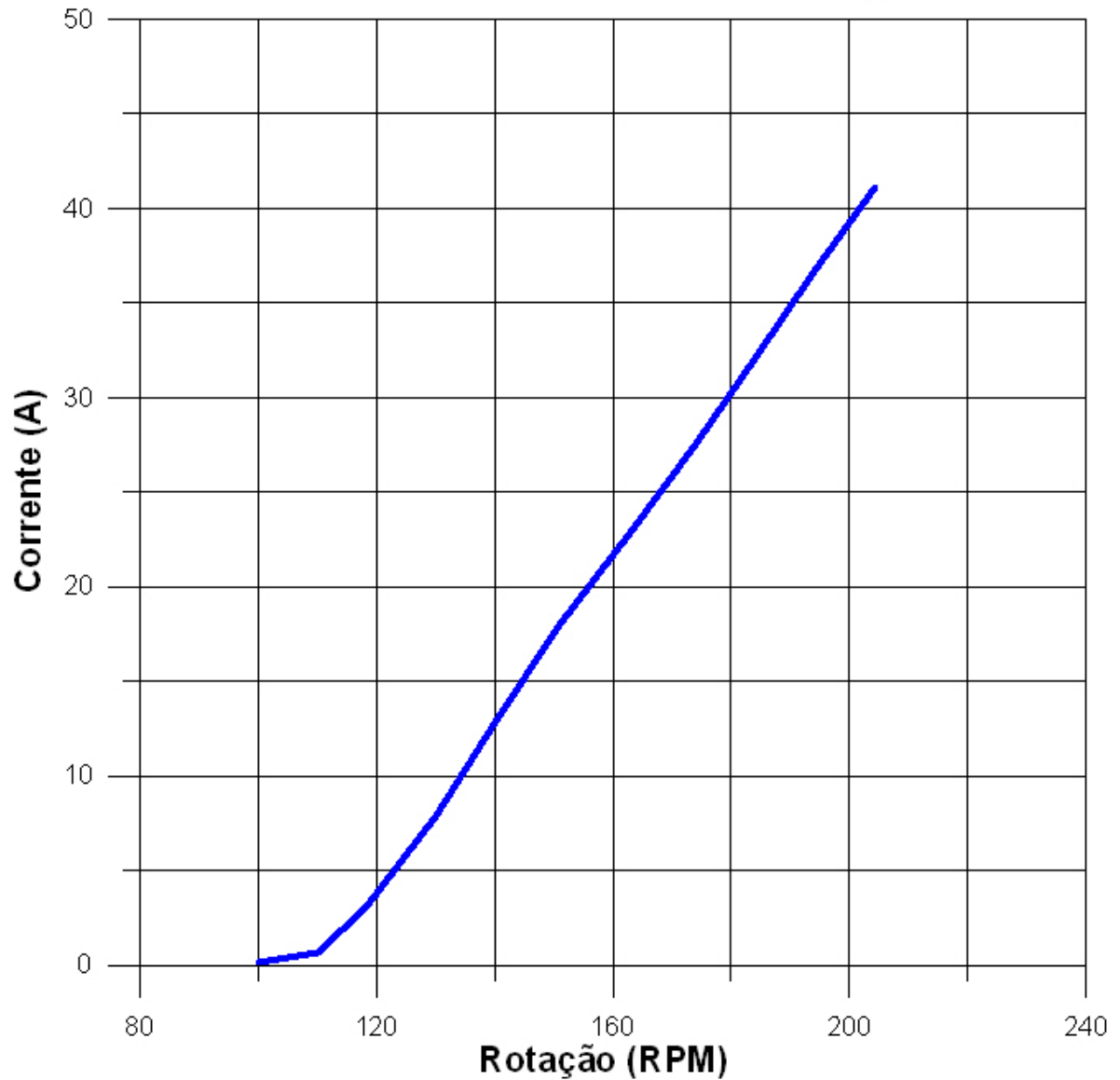
Ensaio em bancada com o sistema realizando recarga das baterias

Figura 97: Gráfico Corrente x RPM do ensaio em bancada carregando as baterias.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

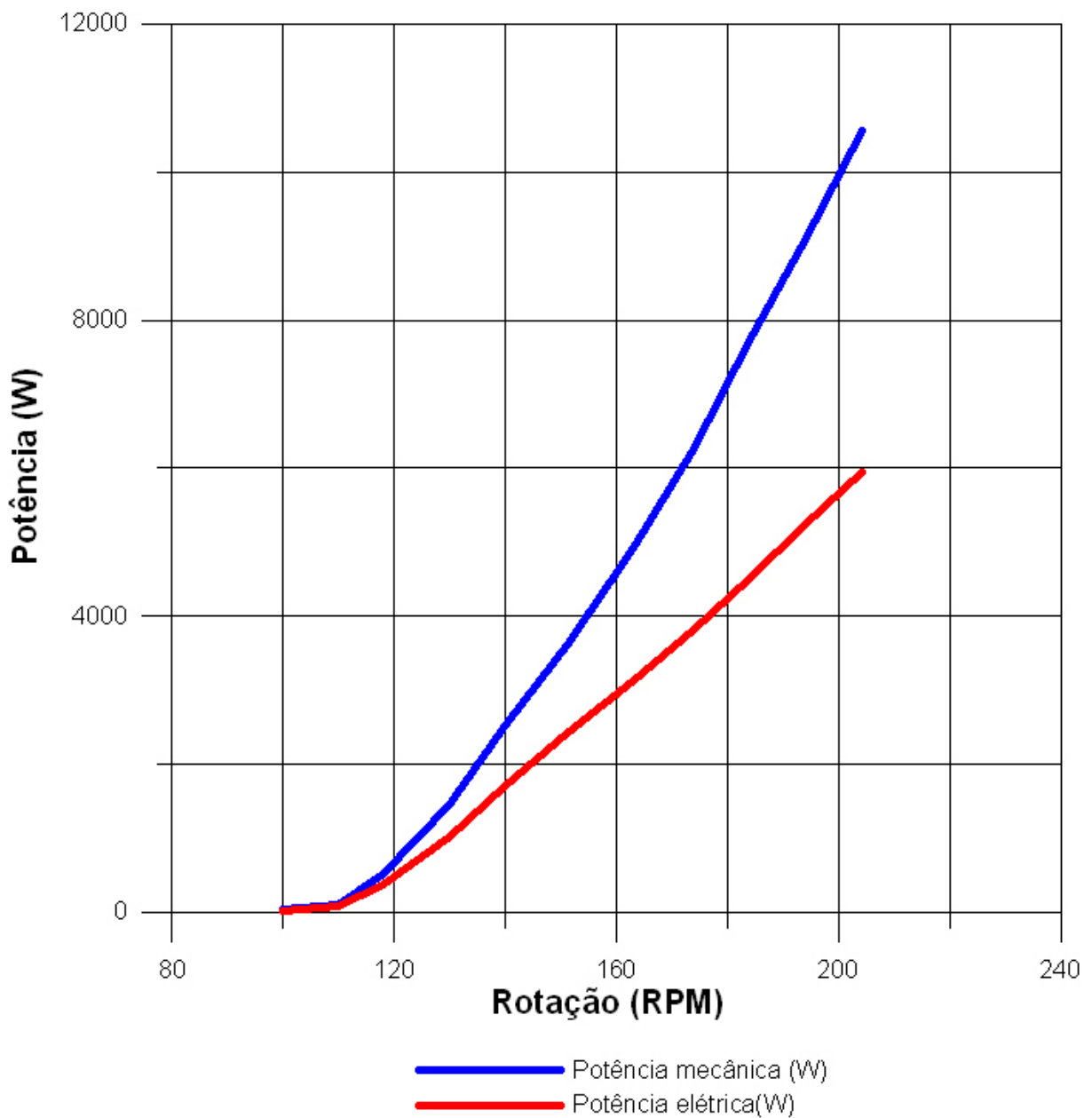
Ensaio em bancada com o sistema realizando recarga das baterias

Figura 98: Gráfico Potência x RPM do ensaio em bancada carregando as baterias.
(gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

Ensaio em bancada com o sistema realizando recarga das baterias

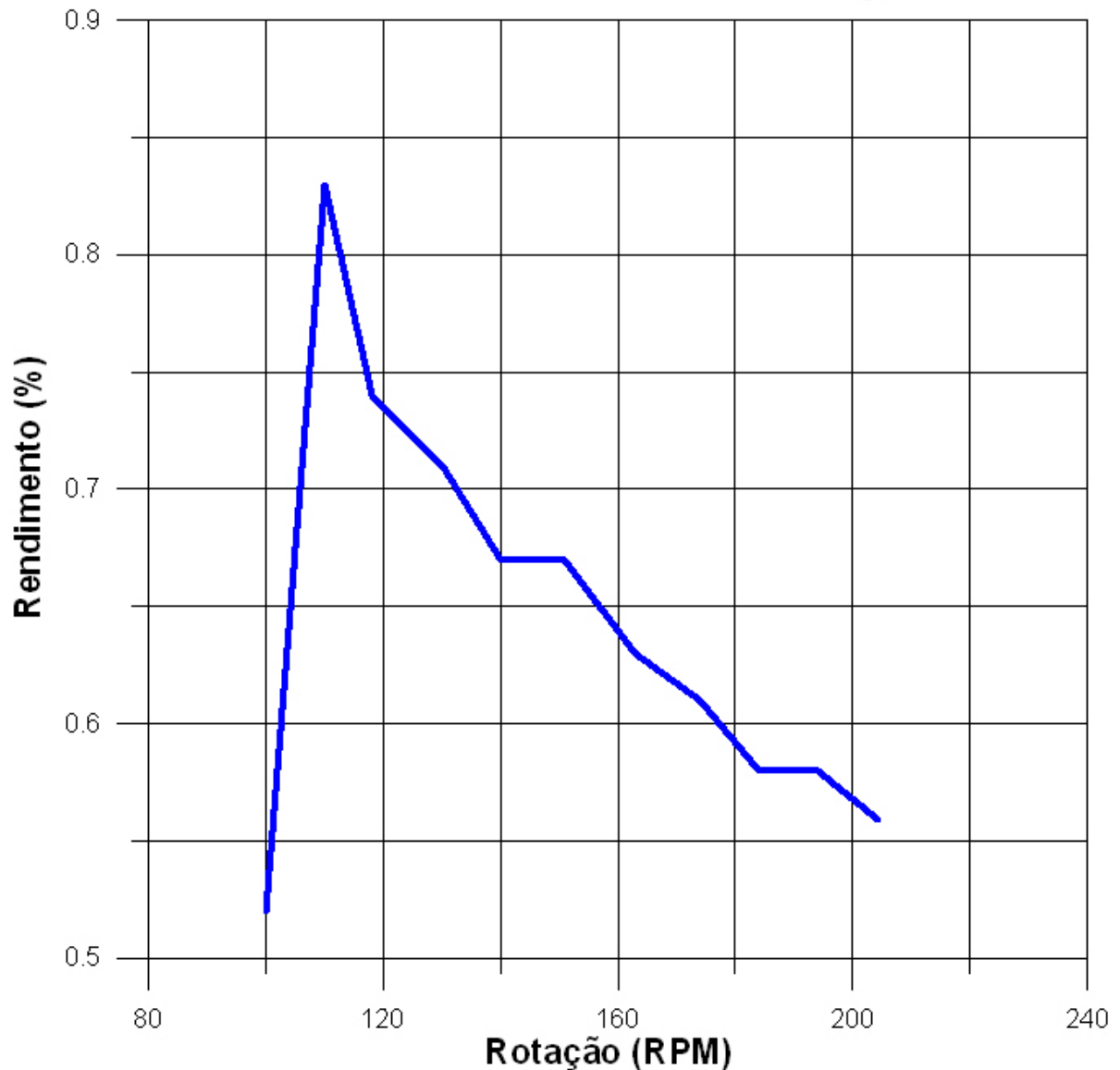


Figura 99: Gráfico do rendimento em % do ensaio em bancada carregando as baterias. (gráfico elaborado pelo autor utilizando o software Grapher 6.0)

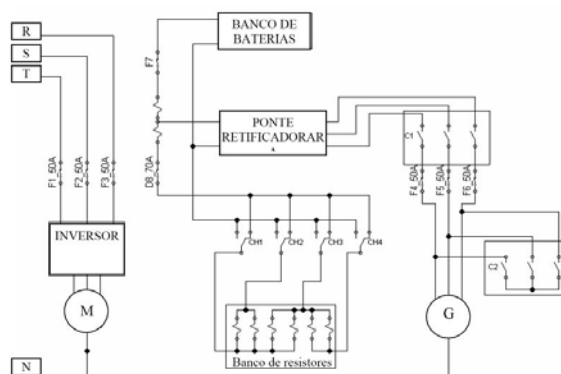


Figura 100: Circuito de potência do painel. (COSTA, 2007.)

Conclusões

Este trabalho atingiu o seu objetivo com o desenvolvimento, projeto e construção de dois protótipos de turbinas eólicas de pequeno porte. Com isto foi possível também analisar o funcionamento do gerador elétrico acoplado constituído por uma máquina de imã permanente de fluxo magnético axial. Pode-se afirmar que os sistemas mecânicos e elétricos que constituem estes protótipos são considerados adequados. Para isto foram realizados testes inovadores, tais como o "Truck-Test" fornecendo valiosas informações ainda na fase de desenvolvimento do projeto. Tais ensaios comprovaram os resultados obtidos em bancada mostrando o acerto da metodologia empregada.

O segundo protótipo construído está em operação em Campos no estado do Rio de Janeiro já há quase um ano, sem apresentar sequer um problema, seja elétrico, mecânico ou aerodinâmico. A execução do trabalho abrangendo desde a concepção até a fabricação da turbina permitiu uma boa simulação da atuação profissional em engenharia mecânica.

O aerogerador está instrumentado e fornecendo dados valiosos para futuros trabalhos,

Ficou evidente a vasta gama de conhecimentos necessários ao desenvolvimento de um produto.

A utilidade das ferramentas computacionais de auxílio ao projeto pôde ser observada.

As contingências de custo para aquisição de componentes e materiais balizando a definição das soluções economicamente viáveis deram a oportunidade de se perceber essa importante tarefa do profissional de engenharia.

Do ponto de vista do produto, os testes preliminares sugerem um grande potencial para a utilização dessa máquina, visto que a mesma satisfaz todas as exigências de projeto.

Referências

- ABBOTT, I. H. *Theory of Wings Sections*. 1^a. ed. New York, USA: Dover Publications, Inc, 1959.
- ACKERMANN, T.; SODER, L. An overview of wind energy-status 2002. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 6, p. 67–128, 2002.
- AGARRAD HASSAN AND PARTNERS. *Bladed for Windows - Theory manual*. Bristol, England, June 1997.
- ANDERSON JR, J. D. *Fundamentals of Aerodynamics*. 2^a. ed. Maryland, USA: McGraw-Hill International Editions, 1991.
- ASSOCIATION, E. W. E. *Record Growth for Global Wind Power in 2002*. [S.l.], 2003. Usenet Newsgroup: rec.autos.tech; Company URL: www.irl.cri.nz.
- BETZ, A. *Wind-Energie und Ihre Ausnutzung durch Windmühlen*. Göttingen, Germany: Vandenhoeck und Ruprech; reprint: Öko-Buchverlag Kassel, 1982.
- BURTON, T. et al. *Wind Energy Handbook*. 2^a. ed. West Sussex, England: Wiley, 2001.
- CBEE. *Energia Eólica*. <http://www.eolica.org.br>, 2008.
- COMMISSION, I. I. E. *Norma IEC 61400-1 - Wind Turbine Generator Systems - Part 1*. [S.l.], 1998.
- CORRÊA, M. de P. *Fundamentos de meteorologia - EAM 10*. IRN/UNIFEI.
- CORTEN, G. P. Flow separation on wind turbine blades. PhD Dissertation Universiteit Utrecht Nederland. 2001.
- COSTA, W. da. *Elaboração de bancada para ensaios experimentais e análise de desempenho das máquinas de Ímã permanente de fluxo axial utilizadas na geração de energia eólica de pequeno porte*. Monografia UERJ Rio de Janeiro. 2007.
- DÍEZ, P. F. *Energia Eólica*. Tese (Doutorado) — Universidad de Cantabria - Departamento de ingeniería eléctrica y energética, 2003.
- FEITOSA, E. *Energia Eólica no Brasil: Situação Atual e Perspectivas*. [S.l.], 2004.
- FILHO, L. P. A. Dimensionamento estrutural das pás de uma turbina eólica de eixo horizontal. Trabalho de graduação do Curso de Engenharia Mecânica da UFMG. June 2004.
- FITZGERALD, A. E.; JR., C. K.; UMAM, S. D. *Electric Machinery*. [S.l.]: McGraw Hill international book company, 2004.

- FRASSON, M. V. S. *Classe ABNT: confecção de trabalhos acadêmicos em \LaTeX segundo as normas ABNT*. <http://abntex.codigolivre.org.br>, 2002. Versão 1.
- FRERIS, L. *Wind Energy Conversion Systems*. 1^a. ed. Cambridge, USA: Prentice Hall, 1989.
- GASCH, R.; TWELE, J. *Wind Power Plants. Fundamentals, Design, Construction and Operation*. Berlin, Germany and London, UK: Solarpraxis AG in association with James and James - Science Publishers Ltd., 2002.
- GIPE, P. *Wind Energy Comes of Age*. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc., 1995.
- HÉMERY, D.; DEBIER, J.-C.; BELÉAGE, J.-P. *Uma História da Energia*. Brasília, Brasil: Editora Universidade de Brasília, 1993.
- HOLMAN, J. W. *Experimental methods for engineers*. 7^a. ed. [S.l.]: McGraw-Hill International Editions, 2001.
- JESSEN, K. S. *\LaTeX demo: Exemplos com $\LaTeX 2_{\epsilon}$* . jessen@acm.org, 2001. Versão: 1.13.
- JOHNSON, G. L. *Wind Energy Systems*. Manhathan, USA: KS, Eletronic Edition, 2001.
- KAMAL, I.; ISLAM, M. A theoretical investigation of the design and performance of a horizontal axis wind turbine at various wind conditions of bangladesh. *Journal of Mechanical Engineering Research and Development*, v. 18, p. 67–128, 1995.
- LEMOES, D. F. A. Análise de projeto de turbina eólica de grande porte para condições climáticas da região nordeste do brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. 2005.
- MAGNETOS GERAIS LTDA. *Magnetos Gerais*. <http://www.magnetogerais.com.br>, 2007.
- MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. 2^a. ed. West Sussex, England: Wiley, 2001.
- MIKKELSEN, R. *Actuator Disc Methods Applied to Wind Turbines*. Tese (Doutorado) — Technical University of Denmark (DTU), 2003.
- MULJADI, E.; BUTTERFIELD, C. Pitch-controlled variable-speed wind turbine generation. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting Phoenix,. 1999.
- OLIVEIRA, P.; BORTOLUS, M.; PINTO, R. Otimização aerodinâmica de turbinas eólicas de eixo horizontal. *VII ENCIT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas*, v. 2, n. 4, p. 1294–1298, 1998.
- PROVENZA, F. *Projetista de Máquinas*. 76^a. ed. São Paulo, Brasil: Editora F. Provenza, 1990.
- RGG. *FAP - Fotografias Aéreas com PIPAS*. <http://rgg.homelinux.com:8080/>, 2008.
- RIBEIRO, R.; BORTOLUS, M. Design and construction of a 10kw h horizontal axis wind turbine (hawt) with variable speed. *18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, Brasil*, 2005.

- RIBEIRO, R. P. *Metodologia de projeto de turbinas eólicas de eixo horizontal para baixa potência*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- ROVIO, T.; L.VIHRILÄ; SÖDERLUND, J. Axial and radial flux generations in small-scale wind power production. institute of electromagnetics. Tampere university of technology. sem referência de data.
- SARTORI, M. da G. B. *Gênese e características do vento norte regional em Santa Maria, RS*. 2007. UFSM - Santa Maria - RS.
- SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. *A Atmosfera Terrestre e Movimentos Atmosféricos*. 2007. ESALQ/USP.
- SILVA, T. C. T.; ROCHA, E. M.; MARCOLINO, R. C. Máquina de Ímã permanente de fluxo axial na geração de energia eólica de pequeno porte. Monografia UERJ Rio de Janeiro. 2006.
- TERCIOTE, R. Eficiência energética de um sistema eólico isolado. Faculdade de Engenharia Mecânica - Departamento de Energia - UNICAMP. 2001.
- WARBRICK, J. et al. *Essential L^AT_EX++*. [S.l.], 1994.
- WEG. *Manual do inversor de potência WEG CFW09*. <http://www.weg.com.br>, 2007.
- WIKIPÉDIA. *wikipedia*. <http://pt.wikipedia.org>, 2008.
- WIND POWER - DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. *Guided Tour on Wind Energy*. <http://www.windpower.org>, 2004. Site visitado em Dezembro de 2006.
- WWEA. *Wind turbines generate more than 1 % of the global electricity*. <http://www.wwindea.org>, 2008.