



Análise de dados direcionada ao mercado de motores reformados pela indústria

Consultores:

Prof. Rodrigo Flora Calili, D.Sc.
Rafael Saadi Dantas Teixeira, Esp.

Programa de Pós-Graduação em Metrologia
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, 04 de abril de 2019

Sumário

SUMÁRIO	2
1. MOTIVAÇÃO	3
2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	5
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE INDUSTRIAL	5
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	11
3.2.1 <i>Coeficiente de correlação de Pearson</i>	11
3.2.2 <i>Teste Qui-quadrado para independência ou associação</i>	12
4. RESULTADOS	13
4.1 PANORAMA DO MERCADO ATUAL DE MOTORES NAS INDÚSTRIAS	13
4.1.1 <i>Característica dos motores utilizados por empresa</i>	13
4.1.2 <i>Idade dos motores</i>	14
4.1.3 <i>Quantidade de rebobinamento</i>	14
4.1.4 <i>Perda de energia causada por rebobinamento dos motores</i>	15
4.1.5 <i>Payback associado à aquisição de motores IR3 premium</i>	17
4.1.6 <i>Tipos de aplicação de motores na indústria</i>	22
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	23
4.2.1 <i>Potência nominal x Rebobinamento</i>	23
4.2.2 <i>Tempo de operação (h/ano) x Rebobinamento</i>	25
4.2.3 <i>Idade x Rebobinamentos</i>	25
4.2.4 <i>Tipo de aplicação x Rebobinamentos</i>	26
4.2.5 <i>Empresa x Rebobinamentos</i>	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. Motivação

Os motores elétricos no Brasil são responsáveis por cerca de 25% de toda a energia elétrica consumida no país e, em sua grande parte, estão presentes na indústria. Estes equipamentos são fabricados para uso em ventiladores, bombas hidráulicas, compressores de ar, elevadores etc., podendo ser comercializados se atenderem os índices de eficiência mínimos definidos pela Portaria INMETRO/MDIC, Nº 488 de 08/12/2010, garantindo o seu perfeito funcionamento e o gasto energético adequado. O que acontece, no entanto, é que há um grande desconhecimento, tanto dos órgãos governamentais, quanto das entidades privadas interessadas, do parque instalado e do desempenho energético dos motores reformados pela indústria.

Visando aumentar a disseminação da informação acerca dos motores reformados pela indústria brasileira, o PROCOBRE, em parceria com o SENAI Pirituba desenvolveu um projeto cooperado com o objetivo de fazer uma análise do parque instalado e do desempenho energético de motores elétricos reformados na indústria de São Paulo. Para tanto, foram estudadas indústrias dos setores de (i) autopeças, (ii) metalomecânica, (iii) papel e celulose, (iv) cosmética e farmacêutica e (v) alimentos. Este projeto gerou um rico volume de dados, que requer um maior aprofundamento das análises, objetivando obter maior conhecimento dos motores reformados pela indústria. Estes dados devem ser cruzados com o estudo realizado pela PUC-Rio em 2018, cujo objetivo foi identificar e caracterizar o mercado de motores reconicionados no Brasil, gerando uma melhor análise do parque instalado de motores reconicionados da indústria de São Paulo a partir de tratamentos estatísticos.

Este estudo foi encomendado pelo ICA/PROCOBRE e o uso deste conteúdo deve ser autorizado por esta instituição.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho é aprofundar a análise dos dados da pesquisa realizada pelo PROCOBRE em parceria com o SENAI, que tinha como objetivo fazer o diagnóstico do parque instalado e do desempenho energético de motores elétricos reformados na indústria de São Paulo, em que foram estudadas indústrias dos setores de autopeças, metalomecânico, de papel e celulose, cosmética e farmacêutica e de alimentos.

Para alcançar este objetivo, desmembra-se este objetivo maior em objetivos menores ou específicos:

- Consolidar os dados do trabalho realizado pelo PROCOBRE e o SENAI;
- Realizar análises estatísticas utilizando os dados compilados e separados por empresas;
- Comparar os resultados obtidos com os resultados do trabalho realizado pela PUC-Rio em 2018;
- Caracterizar o parque instalado de motores reconicionados das indústrias estudadas.

Para tanto, serão analisadas e compiladas as informações sobre (i) a descrição e local de utilização dos motores (ii), a aplicação destas máquinas em processo ou em utilidades, (iii) as características do parque instalado de motores (potência nominal, rendimento nominal, etc.), (iv) dados de operação dos motores (idade média, horas de operação por dia, quantidade de rebobinamentos), e (v) tipos de acionamento (partida direta, soft starter, estrela-triângulo, inversor de frequência).

3. Metodologia da pesquisa

Nesse tópico, serão apresentadas as principais técnicas utilizadas para a análise do parque instalado de motores reconicionados em São Paulo. Primeiramente, será definido como será realizada a caracterização do parque industrial instalado. Em seguida, serão definidos os testes estatísticos a serem aplicados aos dados para entender melhor o mercado de motores reconicionados nas indústrias pesquisadas.

3.1 Caracterização do parque industrial

Foram estudadas 7 (sete) empresas de diversos setores da indústria, quais sejam:

- SCANIA (autopeças);
- MWM (metalmecânica);
- SUZANO (papel e celulose);
- AVON (cosmética e farmacêutica);
- LIOTÉCNICA (alimentos);
- BAUDUCCO (alimentos).

Os dados utilizados para a análise são referentes a diversos motores utilizados por estas empresas, tendo sido extraídas as seguintes informações:

- Potência nominal em CV;
- Tipo de aplicação (processo ou utilidade);
- Idade em anos;
- Rendimento nominal original de placa (η_0);
- Número de polos;
- Quantidade de rebobinamentos;
- Tipo de acionamento (partida direta, *soft starter*, estrela-triângulo, inversor de frequência).

A Portaria INMETRO/MDIC, Nº 488 apresenta regulamentação apenas para motores trifásicos. Por esta razão, todos os motores analisados nesta pesquisa são deste tipo. Também

foram utilizados dados gerados pela pesquisa realizada pelo PROCOBRE e SENAI. Estes dados estão apresentados a seguir, junto das premissas adotadas:

- Tempo de operação em horas por dia.
- Tempo de operação em horas por ano – foram considerados 265 dias de utilização ao longo de um ano.
- Rendimento do motor rebobinado (η_{RB}) – considerou-se uma perda de 2% de eficiência a cada rebobinamento.
- Perda de energia (kWh/ano) pela utilização do motor rebobinado em relação ao original – calculado por meio da expressão:

$$Perda\ de\ Energia = Potência \left(\frac{1}{\eta_0} - \frac{1}{\eta_{RB}} \right) \cdot tempo.$$

- Economia de energia (kWh/ano) para substituição do motor com o rendimento atual por motor de alto rendimento (IR3), calculado por meio da expressão:

$$Economia\ de\ Energia = Potência \left(\frac{1}{\eta_{RB}} - \frac{1}{\eta_{IR3}} \right) \cdot tempo$$

Onde o rendimento η_{IR3} é retirado da tabela 1, fornecida pela WEG.

Tabela 1 - Rendimento dos motores IR3 Premium

Rendimento dos motores IR3 premium				
Potência (CV)	Número de polos			
	2	4	6	8
0,16	62,0%	66,0%	52,0%	59,5%
0,25	66,0%	70,0%	58,0%	64,0%
0,33	70,0%	73,4%	69,0%	68,0%
0,5	73,4%	78,2%	75,3%	72,0%
0,75	76,8%	79,0%	72,5%	74,0%
1	82,5%	83,0%	82,5%	75,5%
1,5	84,6%	83,0%	81,5%	81,6%
2	85,7%	86,5%	86,5%	84,5%
3	86,6%	87,5%	87,0%	86,5%
4	88,5%	88,0%	88,0%	86,6%
5	88,6%	89,0%	89,5%	86,7%
6	89,5%	89,5%	89,5%	88,0%
7,5	89,7%	91,0%	91,0%	89,8%
10	90,6%	92,0%	91,0%	90,6%
12,5	91,2%	92,4%	91,7%	91,0%
15	91,5%	92,4%	91,8%	91,3%
20	92,2%	93,4%	92,2%	91,6%

25	92,8%	93,8%	93,1%	92,1%
30	92,8%	94,0%	93,6%	92,4%
40	93,4%	94,4%	94,1%	93,5%
50	94,0%	94,6%	94,2%	93,6%
60	94,0%	95,1%	94,5%	93,6%
75	94,2%	95,4%	94,7%	94,3%
100	94,9%	95,5%	95,0%	94,5%
120	95,3%	95,6%	95,3%	94,9%
125	95,3%	95,6%	95,3%	94,9%
150	95,5%	95,8%	95,8%	95,0%
175	95,6%	96,2%	95,8%	95,4%
200	95,8%	96,2%	95,9%	95,6%
250	96,1%	96,3%	96,0%	95,7%
300	96,3%	96,4%	96,1%	95,9%
350	96,4%	96,5%	96,2%	95,9%
400	96,4%	96,6%	96,4%	
450	96,0%	96,7%		
500		96,8%		
550		96,8%		

Fonte: WEG

- Economia financeira (R\$/ano) pela utilização do motor IR3 em relação ao motor rebobinado, calculado por meio da expressão:

$$Economia\ financeira = Economia\ de\ energia \cdot tarifa\ de\ energia.$$

- A tarifa de energia considerada para cada empresa está ilustrada na tabela 2. A tarifa foi composta a partir da tarifa base das distribuidoras que fornecem energia elétrica para cada uma das empresas e incorporando as seguintes premissas: Demanda - 1% do consumo fora ponta; Consumo ponta - 2% do consumo fora ponta; PIS - 1,5%; COFINS - 3,5%; ICMS - 18%.

Tabela 2 - Tarifa de energia por empresa

Empresa	Avon	Bauducco	Damapel	Liotécnica	MWM	SCANIA	Suzano
Tarifa (R\$)	0,58	0,56	0,56	0,58	0,58	0,58	0,56

Fonte: elaboração própria

- A tarifa real ilustrada na tabela 2 foi calculada a partir da expressão:

$$Tarifa\ real = \frac{Tarifa\ base}{1 - \sum impostos}$$

- O Payback simples foi calculado por meio da expressão:

$$\text{Payback} = \frac{\text{investimento}}{\text{economia financeira}}$$

- O investimento necessário para a aquisição de novos motores foi calculado em 3 cenários. Isto porque é comum a concessão de descontos na aquisição de motores quando há a substituição destes, tendo cada distribuidor sua própria política de descontos. Os 3 cenários propostos consideram descontos de 10%, 15% e 25% sobre os preços de motores da tabela disponibilizada pela WEG, referente a março de 2019. Os investimentos para cada cenário estão descritos nas tabelas 3, 4 e 5. Para todos os cenários, também está sendo descontado o custo que seria necessário para efetuar o reparo de motores das empresas.

- Cenário 1: desconto de 10% sobre o preço original dos motores.

Tabela 3 – Investimento para troca de motores IR3 Premium com desconto de 10%

PREÇO DO MOTOR IR3 COM DESCONTO DE 10% MENOS REPARO (INVESTIMENTO)				
POTÊNCIA	NÚMERO DE POLOS			
(CV)	2	4	6	8
0,16	R\$ 264,59	R\$ 262,57	R\$ 120,65	R\$ 235,40
0,25	R\$ 265,69	R\$ 264,88	R\$ 156,90	R\$ 366,93
0,33	R\$ 268,43	R\$ 271,60	R\$ 178,97	R\$ 387,15
0,5	R\$ 272,96	R\$ 381,92	R\$ 242,92	R\$ 477,10
0,75	R\$ 374,42	R\$ 465,80	R\$ 204,73	R\$ 513,70
1	R\$ 448,76	R\$ 556,79	R\$ 372,10	R\$ 709,07
1,5	R\$ 505,29	R\$ 618,05	R\$ 466,34	R\$ 876,90
2	R\$ 680,43	R\$ 822,22	R\$ 492,36	R\$ 1.161,96
3	R\$ 845,27	R\$ 943,73	R\$ 602,26	R\$ 1.552,94
4	R\$ 933,26	R\$ 1.164,73	R\$ 858,63	R\$ 1.763,28
5	R\$ 1.172,10	R\$ 1.261,98	R\$ 1.018,24	R\$ 1.985,72
6	R\$ 1.529,06	R\$ 1.629,47	R\$ 1.203,40	R\$ 2.997,72
7,5	R\$ 1.579,62	R\$ 1.723,20	R\$ 1.307,81	R\$ 3.022,93
10	R\$ 2.176,04	R\$ 2.218,07	R\$ 1.462,34	R\$ 3.272,43
12,5	R\$ 2.467,65	R\$ 2.488,11	R\$ 2.062,43	R\$ 4.580,21
15	R\$ 2.687,24	R\$ 2.648,87	R\$ 2.257,39	R\$ 4.955,69
20	R\$ 4.046,94	R\$ 3.923,22	R\$ 2.979,09	R\$ 5.629,43
25	R\$ 4.490,41	R\$ 4.527,87	R\$ 4.522,15	R\$ 6.947,33
30	R\$ 4.952,66	R\$ 6.373,57	R\$ 5.785,88	R\$ 10.848,40
40	R\$ 8.867,59	R\$ 7.909,14	R\$ 7.773,22	R\$ 11.512,41
50	R\$ 9.356,48	R\$ 8.745,02	R\$ 8.704,00	R\$ 14.288,94
60	R\$ 13.844,04	R\$ 13.327,46	R\$ 10.501,79	R\$ 15.465,00
75	R\$ 15.834,28	R\$ 14.791,40	R\$ 10.813,33	R\$ 20.966,46
80	R\$ 16.611,02	R\$ 14.575,85	R\$ 14.987,39	R\$ 18.141,36
100	R\$ 16.611,02	R\$ 14.575,85	R\$ 14.987,39	R\$ 18.141,36
120	R\$ 25.316,27	R\$ 26.117,09	R\$ 16.373,44	R\$ 32.853,76

125	R\$ 23.278,02	R\$ 23.987,70	R\$ 20.025,19	R\$ 34.045,06
150	R\$ 26.362,05	R\$ 26.641,46	R\$ 43.841,77	R\$ 46.028,87
175	R\$ 35.700,25	R\$ 36.171,16	R\$ 27.009,11	R\$ 67.725,05
200	R\$ 37.113,01	R\$ 34.520,21	R\$ 49.056,64	R\$ 93.474,27
250	R\$ 56.528,19	R\$ 42.032,73	R\$ 123.152,23	R\$ 111.494,00
300	R\$ 80.236,52	R\$ 70.443,14	R\$ 68.560,57	R\$ 84.974,31
350	R\$ 72.006,93	R\$ 76.844,37	R\$ 84.456,80	R\$ 111.174,66
400	R\$ 78.926,41	R\$ 79.500,35	R\$ 90.213,27	
450	R\$ 88.144,30	R\$ 87.045,76		
483		R\$ 112.399,20		
500		R\$ 112.399,20		
550		R\$ 123.358,50		

Fonte: WEG adaptado

- ii. Cenário 2: desconto de 15% sobre o preço original dos motores.

Tabela 4 - Investimento para troca de motores IR3 Premium com desconto de 15%

PREÇO DO MOTOR IR3 COM DESCONTO DE 15% MENOS REPARO (INVESTIMENTO)				
POTÊNCIA	NÚMERO DE POLOS			
(CV)	2	4	6	8
0,16	R\$ 234,74	R\$ 233,22	R\$ 97,48	R\$ 202,44
0,25	R\$ 235,74	R\$ 235,28	R\$ 130,96	R\$ 324,65
0,33	R\$ 238,18	R\$ 241,20	R\$ 149,45	R\$ 342,42
0,5	R\$ 242,16	R\$ 344,57	R\$ 210,05	R\$ 426,58
0,75	R\$ 337,22	R\$ 421,80	R\$ 171,22	R\$ 459,80
1	R\$ 406,66	R\$ 507,66	R\$ 327,83	R\$ 642,61
1,5	R\$ 456,92	R\$ 563,36	R\$ 415,80	R\$ 793,22
2	R\$ 620,37	R\$ 753,27	R\$ 434,53	R\$ 1.050,20
3	R\$ 772,82	R\$ 864,40	R\$ 535,65	R\$ 1.408,77
4	R\$ 853,13	R\$ 1.066,37	R\$ 763,46	R\$ 1.600,44
5	R\$ 1.072,27	R\$ 1.156,56	R\$ 908,78	R\$ 1.803,46
6	R\$ 1.403,34	R\$ 1.493,17	R\$ 1.077,77	R\$ 2.733,88
7,5	R\$ 1.449,69	R\$ 1.578,95	R\$ 1.171,30	R\$ 2.757,05
10	R\$ 2.000,74	R\$ 2.037,77	R\$ 1.308,56	R\$ 2.981,33
12,5	R\$ 2.270,07	R\$ 2.285,56	R\$ 1.851,84	R\$ 4.179,62
15	R\$ 2.469,84	R\$ 2.433,07	R\$ 2.025,92	R\$ 4.522,43
20	R\$ 3.725,52	R\$ 3.610,72	R\$ 2.689,48	R\$ 5.143,19
25	R\$ 4.132,33	R\$ 4.165,62	R\$ 4.090,27	R\$ 6.355,45
30	R\$ 4.564,63	R\$ 5.870,07	R\$ 5.259,41	R\$ 9.918,92
40	R\$ 8.178,24	R\$ 7.273,19	R\$ 7.063,98	R\$ 10.526,01
50	R\$ 8.628,86	R\$ 8.041,27	R\$ 7.872,52	R\$ 13.109,70
60	R\$ 12.752,41	R\$ 12.276,56	R\$ 9.522,04	R\$ 14.188,72
75	R\$ 14.589,48	R\$ 13.625,05	R\$ 9.804,53	R\$ 19.232,69
80	R\$ 15.107,96	R\$ 13.206,80	R\$ 13.529,28	R\$ 16.267,07

100	R\$ 15.107,96	R\$ 13.206,80	R\$ 13.529,28	R\$ 16.267,07
120	R\$ 23.262,61	R\$ 24.056,44	R\$ 14.746,32	R\$ 30.118,74
125	R\$ 21.224,35	R\$ 21.927,05	R\$ 18.046,36	R\$ 31.028,90
150	R\$ 24.071,30	R\$ 24.395,06	R\$ 40.515,57	R\$ 42.266,13
175	R\$ 32.709,46	R\$ 33.302,11	R\$ 24.293,56	R\$ 62.636,13
200	R\$ 33.875,45	R\$ 31.507,41	R\$ 44.982,13	R\$ 86.894,14
250	R\$ 51.979,15	R\$ 38.500,48	R\$ 114.885,44	R\$ 103.744,04
300	R\$ 74.304,17	R\$ 65.261,74	R\$ 63.290,04	R\$ 78.642,35
350	R\$ 66.384,30	R\$ 71.196,42	R\$ 78.251,13	R\$ 104.998,29
400	R\$ 72.757,14	R\$ 73.569,75	R\$ 83.612,11	
450	R\$ 81.373,72	R\$ 80.567,36		
483		R\$ 106.154,80		
500		R\$ 106.154,80		
550		R\$ 116.505,25		

Fonte: WEG adaptado

iii. Cenário 3: desconto de 20% sobre o preço original dos motores.

Tabela 5 - Investimento para troca de motores IR3 *Premium* com desconto de 20%

PREÇO DO MOTOR IR3 COM DESCONTO DE 20% MENOS REPARO (INVESTIMENTO)				
POTÊNCIA	NÚMERO DE POLOS			
(CV)	2	4	6	8
0,16	R\$ 204,89	R\$ 203,87	R\$ 74,31	R\$ 169,48
0,25	R\$ 205,79	R\$ 205,68	R\$ 105,01	R\$ 282,38
0,33	R\$ 207,93	R\$ 210,80	R\$ 119,93	R\$ 297,68
0,5	R\$ 211,36	R\$ 307,22	R\$ 177,19	R\$ 376,06
0,75	R\$ 300,02	R\$ 377,80	R\$ 137,72	R\$ 405,90
1	R\$ 364,56	R\$ 458,53	R\$ 283,56	R\$ 576,15
1,5	R\$ 408,54	R\$ 508,67	R\$ 365,26	R\$ 709,55
2	R\$ 560,30	R\$ 684,31	R\$ 376,70	R\$ 938,45
3	R\$ 700,38	R\$ 785,07	R\$ 469,05	R\$ 1.264,60
4	R\$ 773,00	R\$ 968,02	R\$ 668,29	R\$ 1.437,59
5	R\$ 972,44	R\$ 1.051,14	R\$ 799,33	R\$ 1.621,21
6	R\$ 1.277,62	R\$ 1.356,87	R\$ 952,13	R\$ 2.470,04
7,5	R\$ 1.319,76	R\$ 1.434,70	R\$ 1.034,79	R\$ 2.491,16
10	R\$ 1.825,45	R\$ 1.857,47	R\$ 1.154,77	R\$ 2.690,22
12,5	R\$ 2.072,48	R\$ 2.083,01	R\$ 1.641,25	R\$ 3.779,04
15	R\$ 2.252,45	R\$ 2.217,27	R\$ 1.794,44	R\$ 4.089,17
20	R\$ 3.404,10	R\$ 3.298,22	R\$ 2.399,87	R\$ 4.656,95
25	R\$ 3.774,24	R\$ 3.803,37	R\$ 3.658,39	R\$ 5.763,58
30	R\$ 4.176,59	R\$ 5.366,57	R\$ 4.732,95	R\$ 8.989,44
40	R\$ 7.488,88	R\$ 6.637,24	R\$ 6.354,74	R\$ 9.539,61
50	R\$ 7.901,24	R\$ 7.337,52	R\$ 7.041,03	R\$ 11.930,47
60	R\$ 11.660,79	R\$ 11.225,66	R\$ 8.542,30	R\$ 12.912,44

75	R\$ 13.344,68	R\$ 12.458,70	R\$ 8.795,72	R\$ 17.498,92
80	R\$ 13.604,90	R\$ 11.837,75	R\$ 12.071,16	R\$ 14.392,78
100	R\$ 13.604,90	R\$ 11.837,75	R\$ 12.071,16	R\$ 14.392,78
120	R\$ 21.208,94	R\$ 21.995,79	R\$ 13.119,20	R\$ 27.383,72
125	R\$ 19.170,69	R\$ 19.866,40	R\$ 16.067,54	R\$ 28.012,74
150	R\$ 21.780,54	R\$ 22.148,66	R\$ 37.189,37	R\$ 38.503,40
175	R\$ 29.718,67	R\$ 30.433,06	R\$ 21.578,00	R\$ 57.547,20
200	R\$ 30.637,89	R\$ 28.494,61	R\$ 40.907,61	R\$ 80.314,01
250	R\$ 47.430,12	R\$ 34.968,23	R\$ 106.618,66	R\$ 95.994,08
300	R\$ 68.371,81	R\$ 60.080,34	R\$ 58.019,51	R\$ 72.310,39
350	R\$ 60.761,67	R\$ 65.548,47	R\$ 72.045,45	R\$ 98.821,92
400	R\$ 66.587,86	R\$ 67.639,15	R\$ 77.010,95	
450	R\$ 74.603,13	R\$ 74.088,96		
483		R\$ 99.910,40		
500		R\$ 99.910,40		
550		R\$ 109.652,00		

Fonte: WEG adaptado

3.2 Análise estatística

Para entender o que leva a indústria a recondicionar seus motores ao invés de adquirir motores novos, serão realizados testes estatísticos a fim de obter a relação entre diferentes variáveis e o número de rebobinamentos efetuados nos motores encontrados nas indústrias pesquisadas.

3.2.1 Coeficiente de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) examina a relação existente entre duas variáveis. Este pode variar entre +1 e -1. O sinal indica se a correlação é direta ou inversa, ou seja, se for positiva significa que as variáveis seguem a mesma direção (se uma aumenta com o tempo, por exemplo, a outra aumenta também). Em contrapartida, caso seja negativa, indica que as variáveis seguem em direções opostas (se uma diminui, a outra aumenta) (Shimakura, 2005). O resultado, para correlações positivas ou negativas, é interpretado conforme especificação apresentada na tabela 6.

Tabela 6 - Interpretação do coeficiente de Pearson

Coeficiente de correlação de Pearson (ρ)	Tipo de correlação
0,9 a 1	Muito forte
0,7 a 0,9	Forte
0,5 a 0,7	Moderada
0,3 a 0,5	Fraca
0 a 0,3	Desprezível

Fonte: elaboração própria

Neste trabalho, foram efetuadas correlações para entender quais variáveis podem levar a decisão de rebobinar um motor. A fim de se obter uma análise mais apurada, as correlações

foram realizadas por faixa de potência, consolidando os dados de todas as empresas para ter o maior número de amostras possível. As variáveis correlacionadas foram:

- Potência nominal e Rebobinamentos;
- Tempo de operação (h/ano) e Rebobinamentos;
- Idade (anos) e Rebobinamentos.

3.2.2 Teste Qui-quadrado para independência ou associação

Este teste identifica a associação ou dependência entre duas variáveis. Para isto, são formuladas duas hipóteses: nula (H_0) e alternativa (H_1). São elas:

H_0 : Não há associação entre as variáveis

H_1 : Há associação entre as variáveis

O teste visa confirmar a hipótese nula ou rejeitá-la. Neste segundo caso, a hipótese alternativa será aceita. O teste é realizado a partir da comparação entre as frequências observadas de cada variável e as frequências esperadas, obtidas por meio de cálculos estatísticos (Fonseca e Martins, 2006). Para este trabalho, serão testadas a associação entre as seguintes variáveis:

- Tipo de aplicação e Rebobinamentos;
- Empresa e Rebobinamentos.

O resultado do teste irá determinar se o número de rebobinamentos efetuados em cada motor possui relação com o tipo de aplicação. Este resultado ajudará a identificar se as empresas preferem rebobinar motores de determinada aplicação ou não. Também será verificado se o número de rebobinamentos em cada motor é independente do ramo de atuação da empresa.

4. Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados da análise dos dados da pesquisa realizada pelo PROCOBRE e SENAI nas indústrias do Estado de São Paulo. Primeiramente, é apresentado o panorama atual do mercado de motores nas indústrias estudadas. Em seguida, são realizadas as análises estatísticas propostas no capítulo 3.

4.1 Panorama do mercado atual de motores nas indústrias

A Portaria INMETRO/MDIC, Nº 488 estabelece que só é permitida a venda e revenda de motores trifásicos de alto rendimento. Porém, é comum encontrar no mercado motores que não se adequam a esta portaria. A vida operacional média de motores elétricos é acima de 15 anos. Entretanto, quanto maior o tempo de vida e o número de reparos no motor, maior o consumo de energia (Vieira, 2018).

Quando motores elétricos são utilizados por muitas horas por ano, o custo provindo destes corresponde ao do consumo de energia (95%), enquanto os outros 5% provém da aquisição e manutenção destes equipamentos. Ou seja, o investimento inicial para compra do motor é irrisório frente ao custo do consumo de energia ao longo da sua vida útil (Vieira, 2018). Mesmo assim, muitas empresas preferem recondicionar seus motores de forma pouco planejada, perdendo eficiência energética ao longo do tempo, aumentando assim o custo com consumo de energia.

A PUC-Rio, sob encomenda do Grupo de Trabalho de Motores Recondicionados do MME, com recursos disponibilizados pelo Procobre, realizou em 2018 uma pesquisa qualitativa, com o intuito de entender o que levava os consumidores a recondicionarem seus motores ao invés de adquirir motores novos. Neste estudo, para consumidores industriais, foi possível perceber que não há convergência quanto aos critérios utilizados que levam a decisão de recondicionar os motores ao invés de adquirir um novo. Foi visto que a decisão pelo recondicionamento muitas vezes está baseada no custo/benefício imediato, mas também há empresas que analisam critérios técnicos antes de tomarem uma decisão. Este tipo de consumidor tem consciência de que há perda de eficiência energética causada pelo recondicionamento, porém não são realizados testes pós-recondicionamento para verificação dos parâmetros nominais. Notou-se também nesta pesquisa que há preocupação em contratar empresas autorizadas de recondicionamento. Além disso, percebeu-se que os consumidores industriais, em geral, costumam realizar manutenções preventivas em seus equipamentos.

4.1.1 Característica dos motores utilizados por empresa

O percentual de motores por faixa de potência presentes nas empresas está apresentado na tabela 7. As empresas estão identificadas por números para que tenham seus dados preservados. Nota-se que os motores mais utilizados estão na faixa de 1,1CV à 40CV, representando 58,58% do total de motores analisados. Cada empresa possui distribuição de motores por faixa de potência de forma bem diversa, conforme esperado, visto que cada uma possui necessidades únicas de acordo com seus respectivos ramos de atuação.

Tabela 7 - Distribuição percentual, por faixa de potência de motores no parque industrial estudado

Empresa	1	2	3	4	5	6	7	Total
Até 1 CV	44,00%	3,00%	0,00%	3,45%	4,82%	0,00%	0,00%	7,99%
De 1,1 CV até 10 CV	26,00%	52,00%	0,00%	47,13%	18,07%	38,36%	0,00%	23,96%
De 11 CV até 40 CV	22,00%	32,00%	35,83%	42,53%	46,99%	41,10%	27,43%	34,62%
De 41 CV até 100 CV	5,00%	13,00%	24,17%	2,30%	22,89%	13,70%	44,25%	18,93%
De 101 CV até 300 CV	3,00%	0,00%	29,17%	4,60%	7,23%	4,11%	21,24%	11,09%
Acima de 301 CV	0,00%	0,00%	10,83%	0,00%	0,00%	2,74%	7,08%	3,40%

Fonte: elaboração própria

4.1.2 Idade dos motores

A média de idade dos motores estudados por faixa de potência estão ilustradas na tabela 8. Em média, motores com potência elevada (acima de 101CV) são mais novos em relação aos motores de faixa de potência inferiores. Isto sugere que o ciclo de troca de motores mais potentes é mais rápido que os demais. A média de idade dos motores no Brasil é de 17 anos (Vieira, 2018). De modo geral, as idades observadas são inferiores a esta média. Motores com faixa de potência entre 1,1CV a 100CV encontram-se com uma média geral de um pouco mais de 13 anos, ou seja, 4 anos a menos que a média nacional de vida útil de motores. Espera-se, então, que haja uma renovação dos motores destas indústrias em breve.

Tabela 8 - Média de idade dos motores por faixa de potência no parque industrial estudado

Empresa	1	2	3	4	5	6	7	Total Geral
Até 1 CV	7,30	20,00	-	15,00	15,00	-	-	8,35
De 1,1 CV até 10 CV	10,67	16,24	-	14,80	19,43	11,62	-	13,46
De 11 CV até 40 CV	10,28	15,96	7,52	16,49	17,06	14,73	12,97	13,63
De 41 CV até 100 CV	10,50	14,83	9,00	12,50	7,25	14,42	14,53	13,41
De 101 CV até 300 CV	14,00	-	9,29	20,00	9,33	8,25	13,33	10,64
Acima de 301 CV	-	-	8,41	-	-	8,50	16,75	10,68
Total Geral	10,55	16,76	8,56	15,76	13,61	11,50	14,40	13,02

Fonte: elaboração própria

4.1.3 Quantidade de rebobinamento

No parque industrial estudado, do total de 676 motores auditados, há 226 motores que não sofreram nenhum rebobinamento (1/3) e 450 motores que foram submetidos ao rebobinamento pelo menos uma vez (2/3). A tabela 9 indica o número de motores para cada quantidade de rebobinamentos em cada faixa de potência. Percebe-se que mesmo com a idade avançada dos motores, há uma grande parcela sem ter sido submetido a este tipo de procedimento.

Tabela 9 - Quantidade de motores por faixa de potência e por número de rebobinamentos sofridos

Quantidade de rebobinamentos	0	1	2	3	4	Total Geral
Até 1 CV	47	7	0	0	0	54
De 1,1 CV até 10 CV	39	109	9	0	5	162
De 11 CV até 40 CV	70	144	18	2	0	234
De 41 CV até 100 CV	45	83	0	0	0	128
De 101 CV até 300 CV	19	48	8	0	0	75
Acima de 301 CV	6	16	1	0	0	23
Total Geral	226	407	36	2	5	676

Fonte: elaboração própria

Os motores da faixa de potência de até 1CV são menos reconicionados (13%), sendo reparados apenas uma vez, ao longo de sua vida útil. Este fato demonstra que, provavelmente, quando queimados, foram comprados novos motores desta faixa de potência. Para as demais faixas, a frequência de reparos fica entre 65% e 75% do total de motores. Isto se deve, possivelmente, pelo fato destes motores serem mais caros e terem uma necessidade maior de investimento.

A maioria dos motores foi rebobinada apenas uma vez. A tabela 10 mostra que, como era de se esperar, os motores mais antigos tendem a ter maior número de reconicionados. Então, espera-se que o número de motores novos cresça ao longo dos próximos anos e o número de motores rebobinados diminua, já que a média de idade de motores que sofreram 1 rebobinamento está próximo a média de vida útil dos motores brasileiros. É possível notar também que há empresas, como a 6 e a 7, que podem ter uma política restritiva do número de reconicionados, uma vez que seus motores são reparados no máximo uma vez ao longo do seu ciclo de vida.

Tabela 10 - Média de idade dos motores por quantidade de rebobinamentos (ano)

Quantidade de rebobinamentos	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	Empresa 6	Empresa 7	Total Geral
0	8,26	2,00	5,91	10,00	9,09	11,22	6,76	8,47
1	10,25	18,41	9,27	14,47	20,95	20,00	14,36	15,06
2	11,50	28,00	9,77	11,25				11,31
3				15,00	20,00			17,50
4				11,60				11,60
Total Geral	9,16	17,36	8,43	14,11	14,51	13,51	12,95	12,64

Fonte: elaboração própria

4.1.4 Perda de energia causada por rebobinamento dos motores

A perda de energia causada pela idade dos motores e pelos rebobinamentos efetuados está ilustrada na tabela 11. Nota-se que, no cenário atual, há mais de 2GWh/ano de perdas. Isto equivale a quase 1% da energia total gerada em 1 ano por geradoras eólicas no Brasil (EPE,2017). Este resultado é alarmante, visto que estes dados de perda se referem a apenas 7

empresas. Percebe-se que quanto maior a faixa de potência, maior será a perda energética. Então, espera-se que quanto maior a potência, mais vantajoso será a compra de novos motores ao invés de recondiçaná-los.

Tabela 11 - Perda de energia (kWh/ano)

Perda de energia (MWh/ano)	Empres a 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	Empresa 6	Empresa 7	Total Geral
Até 1 CV	0,00	-0,11	0,00	-0,25	-0,06	0,00	0,00	-0,42
De 1,1 CV até 10 CV	-1,10	-16,90	0,00	-22,10	-5,45	-6,52	0,00	-52,07
De 11 CV até 40 CV	-8,58	-39,05	-73,38	-48,06	-39,76	-10,14	-61,47	-280,44
De 41 CV até 100 CV	-1,62	-61,30	-100,46	-9,52	-5,75	-3,65	-198,35	-380,64
De 101 CV até 300 CV	-56,89	0,00	-521,11	-29,90	0,00	0,00	-229,52	-837,42
Acima de 301 CV	0,00	0,00	-332,69	0,00	0,00	0,00	-237,47	-570,16
Total Geral	-68,18	-117,36	-1.027,64	-109,83	-51,03	-20,31	-726,80	-2.121,15

Fonte: elaboração própria

Nota-se que a empresa 3 é a que tem maiores perdas, por ter maior quantidade de motores de grandes potências. Se esta empresa tivesse uma “provável política de troca”, como as empresas 6 e 7, recondiçnando seus motores apenas uma vez ao longo do seu ciclo de vida, o impacto das perdas de energia poderia ser mitigado.

A tabela 12 apresenta uma simulação da perda de energia anual de cada empresa caso os motores fossem submetidos a apenas 1 rebobinamento. Ou seja, para simular este cenário, todos os motores com 2 ou mais recondiçnamentos foram considerados como se tivessem sido submetidos a apenas 1 reparo. A tabela mostra que, no geral, a perda de energia decaiu em quase 9%. Em termos absolutos, a perda decairia quase 200MWh/ano. A empresa 1 teria uma economia de energia perdida de quase 50%, o que mostra que uma revisão na política de troca de motores nesta empresa deve ser realizada.

Tabela 12 - Simulação de perda de energia com motores sendo rebobinados no máximo 1 vez

Perda de energia (MWh/ano)	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	Empresa 6	Empresa 7	Total Geral	Diferença percentual
Até 1 CV	0,00	-0,14	0,00	-0,32	-0,09	0,00	0,00	-0,54	-29,01%
De 1,1 CV até 10 CV	-0,80	-19,99	0,00	-20,39	-6,34	-7,70	0,00	-55,21	-6,02%
De 11 CV até 40 CV	-6,12	-43,29	-63,16	-49,38	-39,75	-11,30	-67,40	-280,40	0,01%
De 41 CV até 100 CV	-1,74	-65,83	-107,44	-10,17	-6,18	-3,98	-213,89	-409,24	-7,51%
De 101 CV até 300 CV	-29,67	0,00	-466,57	-32,12	0,00	0,00	-244,60	-772,96	7,70%
Acima de 301 CV	0,00	0,00	-315,57	0,00	0,00	0,00	-248,25	-563,82	1,11%
Total Geral	-38,33	-129,25	-952,73	-112,39	-52,36	-22,98	-774,14	-2.082,17	1,84%
Diferença percentual	43,78%	-10,13%	7,29%	-2,33%	-2,61%	-13,13%	-6,51%	1,84%	

Fonte: elaboração própria

4.1.5 *Payback* associado à aquisição de motores IR3 premium

O *payback* foi calculado a partir dos cenários descritos na seção 3.2. Os valores de *payback* foram separados de acordo com faixa de potência e tempo de uso dos motores. Para cada cenário, os resultados são apresentados de 2 modos: o primeiro compõe a média de retorno de investimento de todos os motores analisados e o segundo, considera apenas motores que já foram submetidos a pelo menos 1 rebobinamento, sendo excluída a influência causada por motores que não sofreram reparos e que, naturalmente, aumentam a média do *payback*.

I. Cenário 1:

A tabela 13 ilustra o *payback* para troca dos motores usados nas indústrias atualmente por motores IR3 premium sendo considerado desconto de 10% no investimento para aquisição de novos motores.

Tabela 13 - *Payback* por faixa de potência e tempo de uso para o cenário 1

Tempo de uso (ano)	Até 1 CV	De 1,1 CV até 10 CV	De 11 CV até 40 CV	De 41 CV até 100 CV	De 101 CV até 300 CV	Acima de 301 CV	Tempo de uso (dia)
530	-	16,63	18,62	-	-	-	2
795	-	13,19	10,05	-	-	-	3
1060	-	12,47	10,62	15,41	-	-	4
1325	-	-	6,70	12,33	14,88	-	5
2120	-	12,24	7,17	14,83	-	-	8
3180	9,84	6,13	3,42	4,14	6,20	-	12
4240	7,67	3,48	4,04	7,96	3,10	-	16
4770	-	-	-	-	8,12	-	18
5300	-	1,96	1,94	2,93	2,49	-	20
5830	-	3,79	2,40	3,09	3,10	3,26	22
6360	3,74	3,40	3,96	3,25	5,56	4,88	24
Média por potência	7,08	8,14	6,89	7,99	6,21	4,07	

Fonte: elaboração própria

A média de *payback* varia entre 4,07 anos a 8,14 anos. Visto que a vida útil média de motores no Brasil é de 17 anos, é benéfica a troca de motores, de modo geral. Porém, não é muito recomendada a troca de motores com pouco tempo de uso diário, visto que há retorno de investimentos predominantemente altos, tendo até um caso que ultrapassa 18 anos. Já a tabela 14 apresenta os resultados de *payback* sem contabilizar os motores que não sofreram rebobinamento.

Tabela 14 - Payback por faixa de potência e tempo de uso de motores que foram submetidos a pelo menos 1 rebobinamento para o cenário 1

Tempo de uso (ano)	Até 1 CV	De 1,1 CV até 10 CV	De 11 CV até 40 CV	De 41 CV até 100 CV	De 101 CV até 300 CV	Acima de 301 CV	Tempo de uso (dia)
530	-	16,63	18,62	-	-	-	2
795	-	13,19	10,05	-	-	-	3
1060	-	11,09	9,74	15,41	-	-	4
1325	-	-	6,70	12,33	-	-	5
2120	-	5,65	5,13	-	-	-	8
3180	11,91	5,62	3,34	4,14	-	-	12
4240	1,51	2,80	2,43	3,95	2,42	-	16
4770	-	-	-	-	-	-	18
5300	-	1,96	1,91	2,93	2,49	-	20
5830	-	1,27	2,18	3,09	3,10	3,26	22
6360	3,74	2,06	1,82	2,40	3,88	3,66	24
Média por potência	5,72	6,69	6,19	6,32	2,97	3,46	

Fonte: elaboração própria

II. Cenário 2:

A tabela 15 ilustra o *payback* para troca dos motores usados nas indústrias atualmente por motores IR3 *premium* sendo considerado desconto de 15% no investimento para aquisição de novos motores.

Tabela 15 - Payback por faixa de potência e tempo de uso para o cenário 2

Tempo de uso (ano)	Até 1 CV	De 1,1 CV até 10 CV	De 11 CV até 40 CV	De 41 CV até 100 CV	De 101 CV até 300 CV	Acima de 301 CV	Tempo de uso (dia)
530	-	15,23	17,16	-	-	-	2
795	-	12,10	9,25	-	-	-	3
1060	-	11,43	9,77	14,20	-	-	4
1325	-	-	6,17	11,36	13,62	-	5
2120	-	11,25	6,60	13,66	-	-	8
3180	8,91	5,58	3,14	3,81	5,68	-	12
4240	6,91	3,18	3,72	7,28	2,84	-	16
4770	-	-	-	-	7,47	-	18
5300	-	1,79	1,78	2,66	2,28	-	20
5830	-	3,46	2,18	2,82	2,85	3,08	22
6360	3,41	3,11	3,64	2,97	5,12	4,56	24
Média por potência	6,41	7,46	6,34	7,34	5,69	3,82	

Fonte: elaboração própria

A média de *payback* varia entre 3,82 anos a 7,46 anos. Foi percebida uma diminuição média de meio ano do *payback* em comparação com o cenário 1. Mesmo com essa diminuição, a troca de motores com pouco tempo de uso diário ainda não é muito vantajosa. A tabela 16 apresenta os resultados de *payback* sem contabilizar os motores que não sofreram rebobinamento. A tabela mostra que é altamente recomendada a troca de motores com mais de 18h por dia de uso que já sofreram pelo menos 1 rebobinamento.

Tabela 16 - *Payback* por faixa de potência e tempo de uso de motores que foram submetidos a pelo menos 1 rebobinamento para o cenário 2

Tempo de uso (ano)	Até 1 CV	De 1,1 CV até 10 CV	De 11 CV até 40 CV	De 41 CV até 100 CV	De 101 CV até 300 CV	Acima de 301 CV	Tempo de uso (dia)
530	-	15,23	17,16	-	-	-	2
795	-	12,10	9,25	-	-	-	3
1060	-	10,17	8,96	14,20	-	-	4
1325	-	-	6,17	11,36	-	-	5
2120	-	5,19	4,72	-	-	-	8
3180	10,77	5,11	3,07	3,81	-	-	12
4240	1,33	2,55	2,24	3,64	2,21	-	16
4770	-	-	-	-	-	-	18
5300	-	1,79	1,75	2,66	2,28	-	20
5830	-	1,15	1,99	2,82	2,85	3,08	22
6360	3,41	1,88	1,67	2,19	3,57	3,42	24
Média por potência	5,17	6,13	5,70	5,81	2,73	3,25	

Fonte: elaboração própria

III. Cenário 3:

A tabela 17 ilustra o *payback* para troca dos motores usados nas indústrias atualmente por motores IR3 *premium* sendo considerado desconto de 20% no investimento para aquisição de novos motores.

Tabela 17 - *Payback* por faixa de potência e tempo de uso para o cenário 3

Tempo de uso (ano)	Até 1 CV	De 1,1 CV até 10 CV	De 11 CV até 40 CV	De 41 CV até 100 CV	De 101 CV até 300 CV	Acima de 301 CV	Tempo de uso (dia)
530	-	13,84	15,71	-	-	-	2
795	-	11,01	8,45	-	-	-	3
1060	-	10,40	8,92	12,98	-	-	4
1325	-	-	5,64	10,38	12,37	-	5
2120	-	10,27	6,03	12,49	-	-	8
3180	7,97	5,03	2,87	3,48	5,15	-	12
4240	6,14	2,88	3,39	6,59	2,59	-	16
4770	-	-	-	-	6,81	-	18
5300	-	1,62	1,61	2,38	2,06	-	20
5830	-	3,14	1,96	2,54	2,59	2,90	22
6360	3,08	2,81	3,31	2,69	4,68	4,25	24
Média por potência	5,73	6,78	5,79	6,69	5,18	3,57	

Fonte: elaboração própria

Neste terceiro cenário, a troca de motores com baixo tempo de uso diário se torna mais interessante quando comparado com os outros 2 cenários. Isto mostra que o investimento a ser realizado para a troca dos motores é uma variável importante na decisão de troca ou reparação destes. Uma redução de apenas 5% do preço dos motores em relação ao cenário 2 foi responsável por reduzir o retorno de investimento em até 2 anos em alguns casos. A tabela 18 apresenta os resultados de *payback* sem contabilizar os motores que não sofreram rebobinamento. Neste cenário, só não é recomendada a troca de motores com até 5h de uso diário. Fica claro que é interessante a troca de motores com pelo menos 1 rebobinamento quando há um bom desconto na aquisição de novos motores.

Tabela 18 - Payback por faixa de potência e tempo de uso de motores que foram submetidos a pelo menos 1 rebobinamento para o cenário 3

Tempo de uso (ano)	Até 1 CV	De 1,1 CV até 10 CV	De 11 CV até 40 CV	De 41 CV até 100 CV	De 101 CV até 300 CV	Acima de 301 CV	Tempo de uso (dia)
530	-	13,84	15,71	-	-	-	2
795	-	11,01	8,45	-	-	-	3
1060	-	9,24	8,18	12,98	-	-	4
1325	-	-	5,64	10,38	-	-	5
2120	-	4,74	4,31	-	-	-	8
3180	9,64	4,60	2,79	3,48	-	-	12
4240	1,15	2,31	2,04	3,33	2,00	-	16
4770	-	-	-	-	-	-	18
5300	-	1,62	1,59	2,38	2,06	-	20
5830	-	1,04	1,79	2,54	2,59	2,90	22
6360	3,08	1,70	1,52	1,98	3,26	3,19	24
Média por potência	4,62	5,57	5,20	5,30	2,48	3,04	

Fonte: elaboração própria

A análise conjunta dos 3 cenários revela que motores com menor tempo de uso diário possuem o retorno do investimento mais demorado. Isto era esperado, pois a economia de energia será menor, já que o motor é utilizado por pouco tempo diariamente. Quanto maior a potência do motor, mais caro é o investimento para sua aquisição (conforme apresentado nas tabelas 3, 4 e 5). Entretanto, mesmo com um alto custo, o retorno do investimento é mais rápido quando comparado com motores de potências mais baixas.

É importante ressaltar que, embora o *payback* de motores com potência abaixo de 1CV e maiores que 250CV tenham sido calculados, estes motores não são contemplados na Portaria INMETRO/MDIC, N° 488.

Foi adotado como premissa 265 dias de utilização dos motores por ano. Porém, há diversos motores que são utilizados 24h por dia. Para este caso de uso, pode ser considerado que os motores não são desligados nunca, exceto quando há manutenções. A tabela 19 compara o *payback* associado, por faixa de potência, de motores que trabalham 24h por dia quando são considerados 365 dias de uso por ano e quando são considerados 265 dias de uso por ano para os 3 cenários estudados. A diferença de retorno de investimento entre as duas premissas adotadas varia em torno de 1 ano para todas as faixas de potência e para todos os cenários.

Tabela 19 - *Payback* de motores utilizados 24h por dia

Cenário 1		
Potência	<i>Payback</i> para 365 dias por ano (anos)	<i>Payback</i> para 265 dias por ano (anos)
Até 1 CV	2,71	3,74
De 1,1 CV até 10 CV	2,47	3,40
De 11 CV até 40 CV	2,88	3,96
De 41 CV até 100 CV	2,36	3,25
De 101 CV até 300 CV	4,04	5,56
Acima de 301 CV	3,54	4,88
Total Geral	3,00	4,13
Cenário 2		
Potência	<i>Payback</i> para 365 dias por ano (anos)	<i>Payback</i> para 265 dias por ano (anos)
Até 1 CV	2,47	3,41
De 1,1 CV até 10 CV	2,26	3,11
De 11 CV até 40 CV	2,64	3,64
De 41 CV até 100 CV	2,16	2,97
De 101 CV até 300 CV	3,72	5,12
Acima de 301 CV	3,31	4,56
Total Geral	2,76	3,80
Cenário 3		
Potência	<i>Payback</i> para 365 dias por ano (anos)	<i>Payback</i> para 265 dias por ano (anos)
Até 1 CV	2,23	3,08
De 1,1 CV até 10 CV	2,04	2,81
De 11 CV até 40 CV	2,41	3,31
De 41 CV até 100 CV	1,95	2,69
De 101 CV até 300 CV	3,40	4,68
Acima de 301 CV	3,09	4,25
Total Geral	2,52	3,47

Fonte: elaboração própria

4.1.6 Tipos de aplicação de motores na indústria

Os motores estudados podem possuir dois tipos de aplicação: processo ou utilidades. Os motores de processo são utilizados na produção da fábrica, logo são motores essenciais para o funcionamento da empresa. Já os motores de utilidade são aqueles utilizados para aplicações transversais ao processo, tal como ventilação, geração de emergência, etc. A tabela 20 contém a quantidade de motores utilizados para cada uma destas aplicações distribuídos por faixa de potência. No total, há mais motores utilizados nos processos da indústria do que aplicados em utilidades. Isto faz sentido, visto que motores de processo são à base de produção da indústria. Há uma predominância de motores, tanto de processo quanto de utilidade, na faixa de 11 a 40CV. Conforme visto na seção 4.1.5, o *payback* associado a esta faixa de potência para aquisição de novos motores de alto rendimento varia entre 5 a 7 anos. Cerca de 70% dos motores

desta faixa de potência já foram submetidos a pelo menos 1 recondicionamento e a média de idade destes motores se aproxima dos 14 anos.

Tabela 20 - Tipo de aplicação por faixa de potência

	Processo	Utilidades	Total Geral
Até 1 CV	52	2	54
De 1,1 CV até 10 CV	111	51	162
De 11 CV até 40 CV	142	92	234
De 41 CV até 100 CV	91	37	128
De 101 CV até 300 CV	57	18	75
Acima de 301 CV	21	2	23
Total Geral	474	202	676

Fonte: elaboração própria

A tabela 21 indica a quantidade percentual de motores separados pelo número de rebobinamentos sofridos e divididos por tipo de aplicação. Percebe-se que há uma maior proporção de motores de utilidades que não sofreram nenhum tipo de rebobinamento em comparação com os motores de processo. Isto quer dizer que a maior parte dos motores que são reconicionados na indústria são de processo, mesmo que estes tenham o maior volume de consumo de energia.

Tabela 21 - Quantidade percentual de motores por tipo de aplicação e quantidade de rebobinamentos

Rótulos de Linha	0	1	2	3	4	Total Geral
Processo	30,38%	61,39%	6,96%	0,42%	0,84%	100,00%
Utilidades	40,59%	57,43%	1,49%	0,00%	0,50%	100,00%

Fonte: elaboração própria

4.2 Análise estatística

Para entender melhor o que pode levar a decisão de recondicionar motores ao invés de adquirir motores novos, serão apresentados os resultados dos testes estatísticos de correlação efetuados, seguindo a metodologia apresentada no capítulo 3, seção 3.2.

4.2.1 Potência nominal x Rebobinamento

A potência nominal é um dos parâmetros mais importantes dos motores elétricos. Quanto maior a potência, maior o rendimento nominal, porém, também maior é o preço dos motores. Conforme visto anteriormente, o *payback* associado a aquisição de motores IR3 *premium* é menor para motores de alta potência, já que a economia de energia provinda destes motores é grande. Para entender se as empresas realizam rebobinamento levando em consideração a potência do motor, calculou-se o coeficiente de Pearson entre as variáveis de potência nominal e rebobinamentos para cada empresa. Os resultados estão contidos na tabela 22.

Tabela 22 - Correlação entre potência e rebobinamento por empresa

Empresa	ρ	Força da correlação
1	0,44	Moderada
2	0,19	Desprezível
3	0,02	Desprezível
4	-0,17	Desprezível
5	-0,40	Moderada
6	-0,21	Desprezível
7	0,13	Desprezível
Total Geral	0,04	Desprezível

Fonte: elaboração própria

Nota-se que a maioria das empresas estudadas não leva em consideração a potência do motor para tomar a decisão de recondicionar ou não seus motores. Entretanto, há duas empresas que possuem correlação moderada, ou seja, a potência é uma das variáveis que é levada em consideração para realizar o rebobinamento, porém não é a única. Destaca-se que a empresa 1, por possuir correlação positiva, realiza mais recondiçõamentos nas maiores faixas de potência do motor. Já a empresa 5 por possuir correlação negativa, recondiciona motores nas faixas de potências menores. Conforme visto na tabela 7, a empresa 1 trabalha, predominantemente, com motores de baixa potência. Logo, a empresa tende a preferir recondicionar motores que ela possui em menor quantidade. A empresa 5 trabalha com motores de média potência. Faz sentido que os motores de potências menores sejam recondiçõados e os de maiores potências não, pois a perda de energia causada por motores de alta potência é maior. No cenário geral, não há correlação entre as variáveis.

Para saber se a faixa de potência tem influência na decisão de rebobinar ou não um motor, realizou-se o teste de correlação de Pearson entre potência nominal separada por faixas e número de rebobinamentos. O resultado, ilustrado na tabela 23, mostra que a faixa de potência não explica o número de rebobinamentos. Isto revela que não há uma política de aquisição que relaciona potência e reparo por parte destas indústrias.

Tabela 23 - Correlação entre potência e rebobinamento por faixa de potência

	ρ	Força da correlação
Até 1 CV	0,08	Desprezível
De 1,1 CV até 10 CV	0,16	Desprezível
De 11 CV até 40 CV	0,10	Desprezível
De 41 CV até 100 CV	-0,15	Desprezível
De 101 CV até 300 CV	-0,01	Desprezível
Acima de 301 CV	0,17	Desprezível
Total Geral	0,04	Desprezível

Fonte: elaboração própria

4.2.2 Tempo de operação (h/ano) x Rebobinamento

Uma das variáveis que, intuitivamente, pode explicar a decisão de rebobinar motores é o tempo de operação, já que quanto mais o motor é usado, maiores são as chances destes equipamentos apresentarem algum tipo de defeito, tendo de ser reparados. Entretanto, o teste de correlação de Pearson, ilustrado na tabela 24, mostra que não há relação entre estas duas variáveis. Apenas motores com potência de até 1CV apresentam algum tipo de correlação, porém ela é fraca. Isto leva a supor que o tempo de operação não está relacionado ao surgimento de falhas nos motores, mas, provavelmente, as condições de instalação, o ambiente em que está instalado, etc.

Tabela 24 - Correlação entre tempo de operação e rebobinamento

	ρ	Força da correlação
Até 1 CV	0,32	Fraca
De 1,1 CV até 10 CV	-0,10	Desprezível
De 11 CV até 40 CV	-0,28	Desprezível
De 41 CV até 100 CV	0,15	Desprezível
De 101 CV até 300 CV	0,11	Desprezível
Acima de 301 CV	-0,09	Desprezível
Total Geral	-0,058	Desprezível

Fonte: elaboração própria

4.2.3 Idade x Rebobinamentos

À primeira vista, parece fazer sentido que a idade dos motores explique se foi efetuado rebobinamentos ou não, ou seja, faz sentido que as variáveis de rebobinamentos e idade estejam relacionadas. Porém, o teste de correlação de Pearson indicou que a correlação entre estas variáveis é fraca para a maioria das faixas de potência, com exceção de motores com até 1CV, em que a correlação é forte. O resultado do teste pode ser visto na tabela 25.

Tabela 25 - Correlação entre idade e rebobinamentos

	ρ	Força da correlação
Até 1 CV	0,74	Forte
De 1,1 CV até 10 CV	0,24	Desprezível
De 11 CV até 40 CV	0,31	Fraca
De 41 CV até 100 CV	0,38	Fraca
De 101 CV até 300 CV	0,30	Fraca
Acima de 301 CV	0,37	Fraca
Total Geral	0,35	Fraca

Fonte: elaboração própria

Mesmo tendo correlação fraca, vale ressaltar que há correlação positiva, porém, o teste indica que há outras variáveis que também são importantes para explicar a decisão de rebobinar motores ou não. Conforme visto na tabela 8, a idade média dos motores das empresas estudadas é de aproximadamente 13 anos. Ou seja, os motores, em média, ainda não atingiram a vida útil

média de motores brasileiros (17 anos). Isto pode explicar o motivo da fraca correlação encontrada entre idade e número de rebobinamentos. Talvez para motores com idades mais avançadas, a correlação poderia apresentar resultados diferentes.

4.2.4 Tipo de aplicação x Rebobinamentos

Nesta seção, deseja-se verificar se o tipo de aplicação tem alguma influência na decisão das empresas em rebobinar ou não seus motores. O tipo de aplicação não é uma variável quantificável, logo para testar a possível relação entre as variáveis, utiliza-se o teste Qui-quadrado para independência ou associação. Seguindo a metodologia para a realização do teste, são formuladas duas hipóteses:

H_0 : Não há associação entre tipo de aplicação e rebobinamentos

H_1 : Há associação entre tipo de aplicação e rebobinamentos

A frequência observada das variáveis está apresentada na tabela 26.

Tabela 26 - Frequência observada entre rebobinamentos e tipo de aplicação

Frequência observada	Rebobinamentos					Total Geral
	0	1	2	3	4	
Aplicação						
Processo	144	291	33	2	4	474
Utilidades	82	116	3		1	202
Total Geral	226	407	36	2	5	676

Fonte: elaboração própria

Utilizando a metodologia para aplicação do teste Qui-quadrado, chega-se a frequência esperada entre as variáveis de interesse, que está ilustrada na tabela 27. Os dados desta tabela revelam quais seriam as frequências teóricas que seriam alcançadas se houvesse associação entre as variáveis de rebobinamento e tipo de aplicação.

Tabela 27 - Frequência esperada entre rebobinamentos e tipo de aplicação

Frequência esperada	Rebobinamentos					Total Geral
	0	1	2	3	4	
Rótulos de Linha						
Processo	158,47	285,38	25,24	1,40	3,51	474
Utilidades	67,53	121,62	10,76	0,60	1,49	202
Total Geral	226	407	36	2	5	676

Fonte: elaboração própria

O teste foi realizado para três níveis de significância: 1%, 5% e 10%. A hipótese nula (H_0) foi aceita para todos os níveis de significância, ou seja, não há relação entre o tipo de aplicação e o número de rebobinamentos efetuados em cada motor. Para o nível de estratificação da pesquisa (processo e utilidade), a conclusão está correta, mas talvez quando se entre em mais detalhe da aplicação real, (dezenas dentro do processo e utilidades), haja alguma diferença, pois existem aplicações severas.

4.2.5 Empresa x Rebobinamentos

Deseja-se verificar, nesta seção, se há associação entre a empresa e o número de rebobinamentos efetuados. Este teste é importante para verificar se há setores da indústria tem maior hábito de rebobinar seus motores. A frequência observada das variáveis está apresentada na tabela 28.

Tabela 28 - Frequência observada entre rebobinamentos e empresa

Frequência observada	Rebobinamentos					
Empresa	0	1	2	3	4	Total Geral
1	66	16	18			100
2	7	92	1			100
3	32	75	13			120
4	1	76	4	1	5	87
5	45	37		1		83
6	54	19				73
7	21	92				113
Total Geral	226	407	36	2	5	676

Fonte: elaboração própria

Utilizando a metodologia para aplicação do teste Qui-quadrado, chega-se a frequência esperada entre as variáveis de interesse, que está ilustrada na tabela 29.

Tabela 29 - Frequência esperada entre rebobinamentos e empresa

Frequência esperada	Rebobinamentos					
Empresa	0	1	2	3	4	Total Geral
1	33,43	60,21	5,33	0,30	0,74	100
2	33,43	60,21	5,33	0,30	0,74	100
3	40,12	72,25	6,39	0,36	0,89	120
4	29,09	52,38	4,63	0,26	0,64	87
5	27,75	49,97	4,42	0,25	0,61	83
6	24,41	43,95	3,89	0,22	0,54	73
7	37,78	68,03	6,02	0,33	0,84	113
Total Geral	226	407	36	2	5	676

Fonte: elaboração própria

O teste foi realizado para três níveis de significância: 1%, 5% e 10%. A hipótese nula (H_0) foi aceita para todos os níveis de significância, ou seja, não há relação entre a empresa e o número de rebobinamentos efetuados em cada motor. Isto reforça que cada empresa possui metodologias próprias para a decisão de rebobinar um motor ou adquirir um novo

5. Considerações finais

Os resultados obtidos neste trabalho estão em linha com a pesquisa qualitativa realizada pela PUC-Rio em 2018. Nesta pesquisa, foi identificado que os critérios para realizar a manutenção dos motores ao invés de comprar motores novos são diversos e dependem de empresa para empresa.

No presente trabalho, por meio de análise estatística, verificou-se que não há fortes correlações entre parâmetros técnicos dos motores e o número de rebobinamentos efetuados. Isto mostra que a decisão de rebobinar um motor, depende da estratégia e política de cada empresa.

Este trabalho também revelou que a idade média dos motores utilizados pelas empresas estudadas chega perto de 13 anos, em média. Já a média de do valor esperado do final da vida útil de motores elétricos no Brasil é de 17 anos. Isto demonstra que o parque instalado deve ser renovado em breve a fim de diminuir a perda energética, que atualmente é bastante elevada, além de adequar o parque instalado à Portaria INMETRO/MDIC, Nº 488.

Em média, os motores do parque industrial estudado são reconicionados apenas 1(uma) vez, demonstrando que pode ser que haja uma consciência por parte das empresas (muitos reparos nos motores ampliam consideravelmente as perdas energéticas). Mesmo assim, a perda energética identificada é muito grande (mais de 3GWh/ano) quando comparado ao cenário de utilização de apenas motores *premium*. Considerando que 95% do custo de um motor se deve ao uso de energia, percebe-se que o parque industrial estudado não é eficiente e gera custos desnecessários para as empresas e para o país.

Quanto maior a potência e o tempo de uso por ano, mais rápido será o retorno do investimento de aquisição de motores novos. Porém, não foi identificada correlação entre o número de rebobinamentos efetuados e a potência do motor. O mesmo acontece quando o número de rebobinamentos é correlacionado com o tempo de uso anual dos motores. Visto que a maior parte dos motores de alta potência sofreram pelo menos 1 rebobinamento (tabela 9), pode-se supor que há falta de estratégia para a tomada de decisão entre reconicionar ou comprar novos motores.

Para fins de estudos futuros, poderia se tentar uma extrapolação da amostra estudada para o parque industrial brasileiro, com vistas a estimar a perda de energia causada no setor industrial pelo reconicionamento de motores e da utilização de equipamentos antigos no parque fabril.

6. Referências bibliográficas

INMETRO. Portaria INMETRO/MDIC, N488. Requisitos de avaliação da conformidade para motores elétricos de indução trifásicos rotor gaiola de esquilo. 2010.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. Curso de estatística. São Paulo: Atlas, 1996.

PUC-Rio. Pesquisa Mercadológica sobre motores reconicionados: uma proposta para o órgão regulador. Rio de Janeiro, 2018.

SENAI. Análise de parque instalado e desempenho energético de motores elétricos reformados. São Paulo, 2018.

SHIMAKURA, S. Coeficiente de Pearson. 2005. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE701/node79.html>. Acesso em: 12 dez. 2018.

VIEIRA, R. S., Avaliação das perdas energéticas e caracterização do mercado de revenda e de manutenção de motores elétricos reconicionados no Brasil. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Metrologia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.