

# AValiação DE PERDAS DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO QUANDO ENSAIADO PELA ABNT 17094-3 E IEC 60034-2-1

Leandro Braz de Sousa<sup>1</sup>; Felipe Sass<sup>2</sup>; Marcio Zamboti Fortes<sup>3</sup>

## Resumo

Estima-se que os motores de indução e os sistemas acionados por eles sejam responsáveis por aproximadamente 70% do consumo de energia do setor industrial brasileiro. Portanto, obter suas perdas é um desafio relevante para a eficiência energética. Atualmente, várias normas são usadas para determinar as características de desempenho dos motores de indução no mundo. No entanto, suas aplicações resultam em variações nos cálculos de desempenho da máquina. Visualizando este cenário, esse artigo realizou dois ensaios em um motor de indução trifásico, comparando diferentes métodos aplicados entre as normas ABNT 17094-3: 2018 e IEC 60034-2-1: 2014, permitindo realizar uma analogia entre as perdas obtidas e a variação na eficiência da máquina.

**Palavras-chave:** ABNT 17094-3; eficiência energética; IEC 60034-2-1; métodos de ensaio; motor de indução trifásico.

## Abstract

It is estimated that the induction motors and the systems driven by them are responsible for approximately 70% of the energy consumption of the Brazilian industrial sector. Therefore, obtain its losses is a relevant challenge for energy efficiency. Nowadays, several standards can be used to determine the performance characteristics of induction motors. However, their application results in variations in the performance calculations. Visualizing this scenario, this article performed two tests on a three-phase induction motor, comparing different methods applied between the standards ABNT 17094-3: 2018 e IEC 60034-2-1: 2014, allowing to make an analogy between the losses obtained and the variation in the efficiency of the machine.

**Keywords:** ABNT 17094-3, Energy efficiency; IEC 60034-2-1; test methods; three-phase induction motors.

## 1 Introdução

O motor elétrico é considerado o equipamento mais importante dentre os que consomem energia elétrica final do Brasil e em especial, o motor de indução trifásico (MIT) possui grande participação no setor industrial. Estima-se que os motores elétricos e os sistemas acionados por eles sejam responsáveis por aproximadamente 70% do consumo de toda a energia do setor industrial (EMSA,2014; FERREIRA, 2016). Desde o início do século pesquisadores da área de motores de indução vêm desenvolvendo estudos e aplicações para assim reduzir as perdas destes equipamentos (YAMACHITA, 2013; PHILIPS, 2017; JIBRAN, ZUBERI e MARTIN, 2017; BRUNNER et al., 2017; NAU E NIED, 2017). As principais economias no mundo

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações - UFF, pesquisador da Universidade Federal Fluminense. E-mail: leandrobraz.sousa@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, professor adjunto da Universidade Federal Fluminense-UFF. E-mail:felipesass@id.uff.br.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Elétrica – USP, professor associado da Universidade Federal Fluminense. E-mail: mzamboti@id.uff.br.

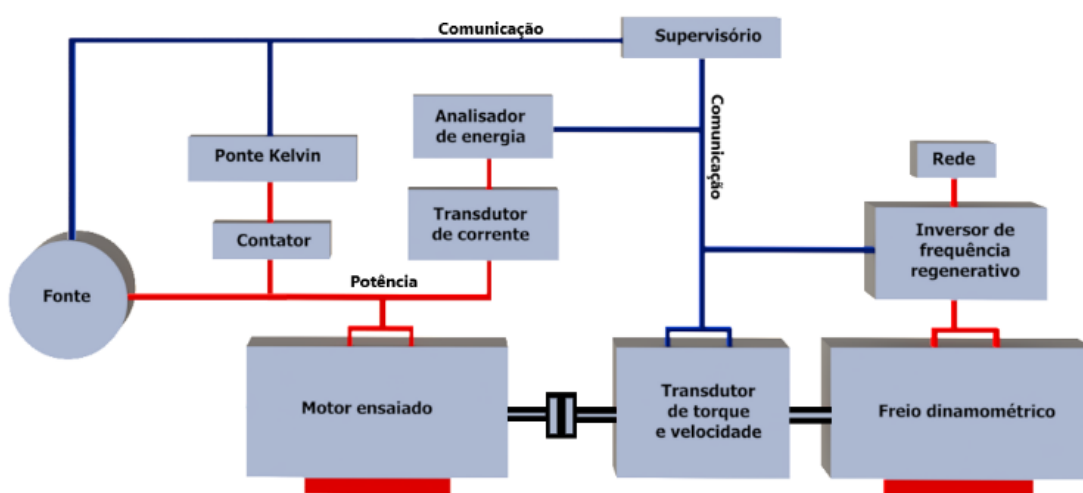
possuem mecanismos de regime regulatório ou obrigatório que estabelecem requisitos mínimos e níveis de eficiência para motores vendidos em seus países, e projetos que incentivem a produção de motores de alto rendimento (ALMEIDA *et al.*, 2017). Existem diversas normas de ensaios de motores elétricos que determinam as características de desempenho do motor de indução, tendo como objetivo final obter o rendimento das máquinas ensaiadas. Como exemplo: no Brasil, o ensaio de motores é regulamentado pela norma ABNT NBR 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) e devem seguir os valores mínimos de rendimento determinados da norma ABNT NBR 17094-1:2018 (ABNTb, 2018); na China os métodos de ensaios são determinados pela norma GB/T 1032:2012 (GB/T, 2012) seguindo os valores mínimos de rendimento da norma GB 18613-2012 (GB, 2012); na Austrália, os métodos de ensaios são estabelecidos pela norma AS/NZS 1359.102.3:2004 (AS/NZSa, 2004) e seguem as exigências de eficiência energética da norma AS/NZSb 1359.5:2004 (AS/NZSb, 2004); na Europa, os métodos de ensaios são determinados pela norma IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014) se orientando pelos valores mínimos de rendimento da norma IEC 60034-30-1:2014 (IECb, 2014). Nos casos da Índia, México e Coréia do Sul, os métodos de ensaios e os valores mínimos de rendimento estão presentes em apenas uma norma de cada país, apresentados, respectivamente, pelas IS 15999-2-1:2011 (IS, 2011), NOM-016-ENER-2016 (NOM, 2016) e KS C IEC 60034-1:2008 (KS, 2008). Essas, entre outras normas, regulamentam os ensaios de motores de indução em todo o mundo. Estas normas utilizam metodologias diferentes, de modo que se um mesmo motor for ensaiado por normas distintas, serão obtidos diferentes valores de rendimentos. Esta diferença motiva grandes discussões entre os comitês internacionais sobre qual norma e/ou método garante o resultado mais próximo do real para o motor de indução. A fim de analisar essas diferenças este artigo aplicou dois dos diversos ensaios existentes em um motor de indução trifásico, em um primeiro momento aplicou-se os métodos descritos na ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) e em sequência os ensaios reportados na IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014).

## **2 Metodologia**

O objetivo deste artigo é realizar dois ensaios em um MIT com potência de 3 CV aplicando os procedimentos das normas ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) e IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014). Ao finalizar os ensaios a partir dos dados coletados será possível realizar uma comparação dos procedimentos de ensaio e resultados obtidos entre o método da ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) e da IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014). O arranjo da bancada experimental para as duas normas está ilustrado na Figura 1. A parte de potência interligada

pela linha vermelha é composta por uma fonte que aciona o motor de ensaio e uma rede que alimenta um inversor de frequência regenerativo responsável por acionar o freio dinamométrico. A resistência, corrente, tensão e potência do motor de ensaio são medidas utilizando uma ponte Kelvin e um analisador de energia. Já o torque e a velocidade utilizam de um transdutor. A parte de comunicação é representada pela linha azul e interliga todos os instrumentos de medição e o inversor regenerativo ao supervisor (SOUSA, 2020).

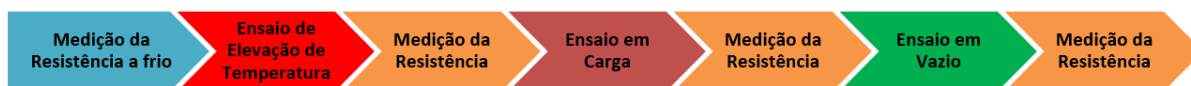
**Figura 1** – Arranjo dos ensaios



Fonte: Sousa (2020).

Para obter o rendimento da máquina ambos os métodos utilizam de quatro tipos de ensaios, sendo eles: Medição da resistência a frio; Ensaio de elevação de temperatura; Ensaio em carga; Ensaio a vazio. Entretanto, esses métodos possuem divergências entre algumas equações normalizadas, pontos de aquisição de dados e procedimentos de ensaios que são determinantes para possíveis variações no rendimento da máquina. A sequência de ensaios para as duas normas é ilustrada conforme fluxograma da Figura 2.

**Figura 2** – Fluxograma dos ensaios



Fonte: Sousa (2020).

O ensaio com a norma da ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) aplica o método 2, no qual a eficiência e o fator de potência são determinados utilizando de um dinamômetro, obtendo uma medição indireta das perdas suplementares e medição direta das perdas no estator, rotor, núcleo, por atrito e ventilação. E o ensaio utilizando a IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014) se baseia no método 2-1-1B conhecido como somatório das perdas, perdas adicionais em carga de acordo

com o método das perdas residuais. Este é um método no qual a eficiência é determinada através do somatório das perdas no ferro, perdas de atrito e ventilação, perdas do enrolamento do estator, perdas do enrolamento do rotor e perdas em carga adicional. Os procedimentos de ensaios e suas diferenças podem ser encontrados conforme (ABNTa, 2018, IECa, 2014; SOUSA, 2020). Desta forma, o artigo enfatiza as diferenças das equações normalizadas para obter as perdas do MIT entre as normas ABNT e IEC.

### 3 Desenvolvimento

#### 3.1 ABNT 17094-3:2018

A seguir o artigo aborda a metodologia de como obter as principais perdas do MIT utilizando de equações normalizadas, conforme expresso na ABNT 17094-3:2018 (ABNT, 2018).

- Perda de atrito e ventilação

Para determinar a perda de atrito e ventilação é utilizado o método de regressão linear extrapolando linearmente os valores de tensão ao quadrado, entre 60 a 20% da tensão nominal, encontrados no ensaio a vazio, versus o somatório das perdas de atrito e ventilação mais as perdas no ferro, utilizando da Eq. (1).

$$Y = A.X + B \quad (1)$$

onde:

$Y$  é uma variável dependente;

$A$  é a inclinação da reta;

$B$  é o ponto de interseção do eixo  $Y$  com a reta;

$X$  é uma variável independente.

- Perda no ferro

As perdas no ferro, assim como as perdas por atrito e ventilação são consideradas independentes da carga. As perdas no ferro são calculadas no ensaio a vazio, quando a máquina está com tensão nominal, de acordo com a Eq. (2).

$$P_{fe} = \sum P_{AV+P_{fe}} - P_{AV} \quad (2)$$

onde:

$P_{fe}$  é a perda no ferro do MIT (W).

$\sum P_{AV+P_{fe}}$  é o somatório das perdas de atrito e ventilação mais as perdas no ferro (W).

$P_{AV}$  é a perda de atrito e ventilação (W)

- Perda do estator ensaio em carga

Para obter as perdas no enrolamento do estator em cada ponto do ensaio em carga é necessário utilizar a Eq. (3), o valor da resistência  $R$  é expresso através da média aritmética da medição da resistência antes de iniciar e depois de terminar o ensaio em carga.

$$P_{estc} = 1,5 \cdot R \cdot I^2 \quad (3)$$

onde:

$P_{estc}$  é a perda do estator calculada no ensaio em carga (W);

$R$  é media da resistência medida no início e final do ensaio em carga ( $\Omega$ );

$I$  é a corrente medida em cada ponto do ensaio em carga (A).

- Perdas do rotor ensaio em carga

Para calcular as perdas rotóricas do motor em cada ponto de carga é preciso obter o valor do escorregamento. Logo após, calcula-se as perdas do rotor no ensaio em carga, conforme Eq. (4).

$$P_{rot} = (P_e - P_{estc} - P_{fe}) \cdot S \quad (4)$$

onde:

$S$  é o escorregamento do motor (p.u);

$P_{rot}$  é a perda do rotor em cada ponto do ensaio em carga (W);

$P_e$  é a potência de entrada (W).

- Perda suplementar corrigida

A perda suplementar corrigida é calculada aplicando a regressão linear as perdas residuais calculadas para os pontos de 150 a 25% do conjugado nominal no ensaio em carga. Primeiramente são calculadas as perdas residuais conforme a Eq. (5). Em seguida as perdas suplementares corrigidas podem ser calculadas conforme Eq. (6) aplicando o método dos mínimos quadrados.

$$P_{res} = P_e - P_s - P_{estc} - \sum P_{AV} + P_{fe} - P_{rot} \quad (5)$$

$$P_{sup (corrigida)} = A \cdot C^2 \quad (6)$$

onde:

$P_{res}$  é a perda residual (W);

$P_s$  é a potência de saída (W);

$P_{sup (corrigida)}$  é a perda suplementar corrigida (W);

$C$  é variável independente, conjugado (N.m).

Segundo a ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) caso o fator de correlação apresente valor menor que 0,95 ou se a inclinação for negativa o pior ponto deve ser excluído e em seguida

é aplicado uma nova regressão linear. Se o novo coeficiente de correlação aumentar para um valor igual ou superior a 0,95 e a inclinação for positiva, o ensaio é validado. Caso contrário é possível que haja erros de leitura das grandezas elétricas ou erros na instrumentação, é recomendado que refaça o ensaio completo.

- Correção das perdas

Para realizar o cálculo do rendimento do MIT se torna necessário que algumas grandezas já calculadas tenham que ser corrigidas como as perdas do enrolamento do estator, do rotor, o escorregamento e a potência de saída. Desta forma, é calculado uma nova resistência  $R_{2c}$ , corrigindo a temperatura  $t_2$  para 25° C, conforme Eq. (7).

$$R_{2c} = \frac{R_1(t_2 - t_1 + t_a + k)}{(t_2 + k)} \quad (7)$$

onde:

$R_{2c}$  é a resistência corrigida ( $\Omega$ );

$t_a$  é a temperatura de 25°C;

$t_1$  é a temperatura inicial (°C);

$t_2$  é a temperatura final do enrolamento (°C);

$R_1$  é a resistência inicial do enrolamento ( $\Omega$ );

$k$  é uma constante de valor igual a 234,5.

- Rendimento

E por fim, após aplicar a correção das perdas, corrigindo  $R_2$  para uma temperatura de 25° C é possível obter o rendimento do motor em cada ponto de carga conforme a Eq. (8), utilizando a potência de saída corrigida.

$$\eta = \frac{P_{s(\text{corrigida})}}{P_e} \cdot 100 \quad (8)$$

onde:

$\eta$  é o rendimento do motor (%);

$P_{s(\text{corrigida})}$  é a potência de saída corrigida (W).

### 3.2 IEC 60034-2-1:2014

A seguir o artigo aborda a metodologia de como obter as principais perdas do MIT utilizando de equações normalizadas, conforme expresso na IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014).

- Perda constante

Finalizado o ensaio a vazio se torna possível determinar a perda constante. Ela é calculada utilizando a Eq. (9), considerando a potência de entrada e a perda do estator, ambas calculadas

no ensaio a vazio.

$$P_C = P_{e(vazio)} - P_{estv} \quad (9)$$

Onde:

$P_C$  é a perda constante para cada ponto do ensaio a vazio (W);

$P_{e(vazio)}$  é a potência de entrada calculada no ensaio a vazio (W);

$P_{estv}$  é a perda do estator calculada no ensaio a vazio (W).

- Perda de atrito e ventilação zero

Após determinar a perda constante ( $P_C$ ) do MIT, utiliza-se da regressão linear aplicando o método dos mínimos quadrados para obter a perda de atrito e ventilação zero ( $P_{AV(zero)}$ ). É extrapolada linearmente uma curva entre a tensão ao quadrado ( $V^2$ ) encontrada no ensaio a vazio para os pontos de 60 a 30% da tensão nominal versus as próprias perdas constantes ( $P_C$ ). Este procedimento é semelhante ao exemplo da ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018), para determinar a perda de atrito e ventilação, mudando apenas os pontos percentuais da tensão nominal e substituindo os pontos do somatório das perdas de atrito e ventilação mais as perdas do ferro pelas perdas constantes.

- Perda de atrito e ventilação

Como a perda de atrito e ventilação zero já foi calculada, é possível determinar a perda de atrito e ventilação e a sua correção conforme as Eq. (10) e Eq. (11) respectivamente.

$$P_{AV} = P_{AV(zero)} \cdot (1 - S)^{2,5} \quad (10)$$

$$P_{AV(corrigida)} = P_{AV(zero)} \cdot (1 - S_{(corrigido)})^{2,5} \quad (11)$$

onde:

$P_{AV(corrigida)}$  é a perda de atrito e ventilação corrigida (W);

$S$  é o o escorregamento corrigido (W);

$P_{AV(zero)}$  é a perda de atrito e ventilação zero (W).

- Perda no ferro

Para obter a perda no ferro interpolada para os pontos do ensaio em carga é necessário utilizar os dados de tensão e perda do ferro em cada ponto do ensaio a vazio. Para encontrar as perdas do ferro no ensaio a vazio utiliza-se a Eq. (12).

$$P_{fe(vazio)} = P_C - P_{AV(zero)} \quad (12)$$

onde;

$P_{fe(vazio)}$  é a perda do ferro (W).

Em seguida é calculada a queda de tensão do enrolamento primário para o ensaio a vazio e para o ensaio em carga, se atentando para os diferentes valores de tensão e potência de entrada medidos em cada ensaio, conforme a Eq. (13) utilizando a Eq. (14) e Eq. (15).

$$U_{i(vazio)} = U_{i(carga)} = \sqrt{\left(V - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I \cdot R \cdot \cos \phi\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I \cdot R \cdot \sin \phi\right)^2} \quad (13)$$

$$\cos \phi = \frac{P_e}{\sqrt{3} \cdot V \cdot I} \quad (14)$$

$$\sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi} \quad (15)$$

onde:

$U_{i(vazio)}$  é a queda de tensão do enrolamento primário para os pontos do ensaio a vazio (V);

$U_{i(carga)}$  é a queda de tensão do enrolamento primário em cada ponto do ensaio em carga (V).

Obtidos os valores de  $U_{i(vazio)}$  e  $U_{i(carga)}$  deve-se realizar uma interpolação do  $U_{i(vazio)}$  e a  $P_{fe(vazio)}$  utilizando  $U_{i(carga)}$  para determinar a perda do ferro para cada ponto do ensaio em carga, conforme exemplo da Tabela 1.

**Tabela 1** - Exemplo de interpolação

Conjugado (%)	V (%)	Ui (vazio)	Pfe (Vazio)	Ui (carga)	Pfe (carga)
125	110	476,5	48,7	374,4	23,8
115	100	432,6	33,3	376,3	24,0
100	95	395,5	26,6	379,6	24,5
75	90	356,1	21,4	385,4	25,3
50				390,0	25,9
25				394,4	26,5

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

- Perda suplementar corrigida

A perda suplementar do MIT também é encontrada utilizando a análise de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, semelhante a ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) método 2, utilizando da perda residual em cada ponto do ensaio em carga, calculada conforme Eq. (16).

$$P_{res} = P_e - P_s - P_{est} - P_{rot} - P_{fe(carga)} - P_{AV} \quad (16)$$

Após determinar as perdas residuais em cada ponto do ensaio em carga, as mesmas são suavizadas utilizando a análise de regressão linear, também aplicando o método dos mínimos quadrados. Atentando que, para o ensaio ser validado o fator de correlação obtido deve seguir o mesmo critério estabelecido pela ABNT.



- Somatório das perdas

As perdas totais em cada ponto do ensaio em carga são calculadas a fim de determinar a eficiência da máquina, sendo o somatório das perdas do ferro, perdas de atrito e ventilação corrigidas, as perdas do estator e rotor corrigidas e as perdas suplementares corrigidas. As perdas totais podem ser calculadas conforme, Eq. (17).

$$P_T = P_{fe(carga)} + P_{AV(corrigida)} + P_{est(corrigida)} + P_{rot(corrigida)} + P_{sup(corrigida)} \quad (17)$$

Onde:

$P_T$  é a perda total (W).

- Rendimento

Para determinar o rendimento do MIT é necessário corrigir a potência de saída conforme a Eq. (18). Por fim, após determinar todas as variáveis que auxiliam a obter o valor da eficiência do motor de indução trifásico a mesma pode ser encontrada em cada ponto do ensaio em carga, conforme, Eq. (19).

$$P_{s(corrigida)} = P_e - P_T \quad (18)$$

$$\eta = \frac{P_{s(corrigida)} - P_T}{P_{s(corrigida)}} \quad (19)$$

## 4 Resultados

Os ensaios foram realizados no CEPTEL no Laboratório de Ensaio de Eficiência em Máquinas Elétricas e em Transformadores junto dos seus dispositivos existentes. Os dados de placa do motor utilizado estão expressos conforme Tabela 2.

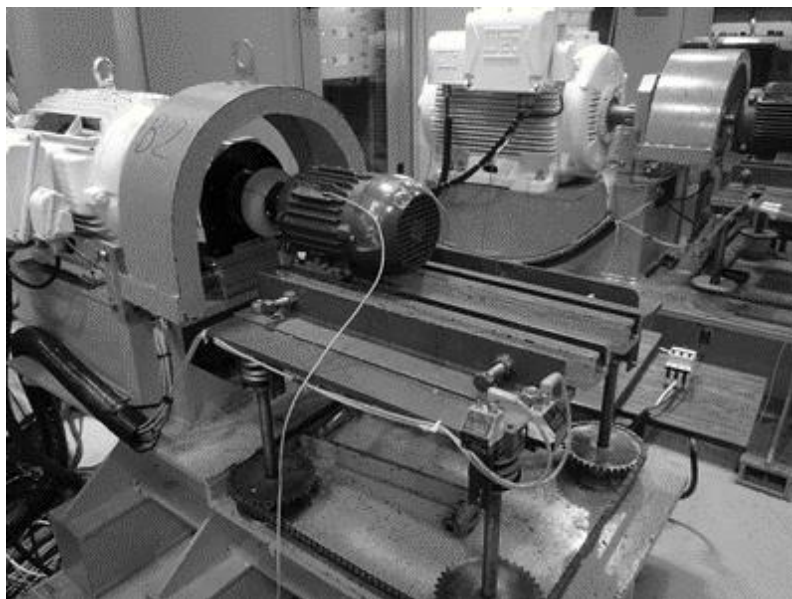
**Tabela 2** - Dados de placa do motor

<b>Potência (CV)</b>	3	<b>Fator de serviço</b>	1,25
<b>Corrente (A)</b>	7,82	<b>Categoria</b>	N
<b>Tensão (V)</b>	220	<b>Regime</b>	S1
<b>Velocidade (Rpm)</b>	3470	<b>Classe de isolamento</b>	F
<b>Frequência (Hz)</b>	60	<b>Ano de fabricação</b>	2011
<b>Fator de potência</b>	0,85	<b>Rendimento (%)</b>	86,5

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Antes de iniciar os testes, o motor foi alinhado e acoplado a um freio dinamométrico conforme Figura 3.

**Figura 3** – Bancada de ensaio



Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Como já comentado anteriormente, existem diferenças de procedimentos no ensaio de elevação de temperatura, ensaio em carga e ensaio a vazio. Porém, este artigo busca analisar de forma comparativa o resultado das principais perdas calculadas utilizando as divergentes equações normalizadas expressas na ABNT e IEC. Inicialmente são comparadas as perdas de atrito e ventilação, quando utilizando os procedimentos da ABNT. Elas são determinadas através de uma regressão linear aplicando o método dos mínimos quadrados. O valor encontrado é considerado o mesmo para todos os pontos de carga, a Tabela 3 expressa a aplicação da regressão linear e o resultado obtido.

**Tabela 3** - Perda de atrito e ventilação ABNT

V (%)	V	X (Tensão <sup>2</sup> )	$Y = \sum \frac{P_{AV} + P_{fe}}{P_{fe}} \text{ (kW)}$	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	A	B= Pav (kW)
60	132,41	17532,41	0,076	3,07E+08	0,0058	1329,65	7,26E-06	-0,028
40	88,01	7745,76	0,066	6,00E+07	0,0043	509,28		
20	44,33	1965,15	0,051	3,86E+06	0,0026	99,62		
Somatório		27243,32	0,192	3,71E+08	0,0126	1938,56		

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Já para a IEC as perdas de atrito e ventilação são calculadas para todos os pontos de carga utilizando das perdas de atrito e ventilação zero e do escorregamento. Seus valores estão expressos conforme Tabela 4.

**Tabela 4** – Perda de atrito e ventilação IEC.

Conjugado (%)	125	115	100	75	50	25
$P_{AV}$ (W)	50,49	51,16	52,26	53,58	54,98	56,39

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

A perda no ferro obtida pela equação da ABNT é calculada utilizando do somatório da perda de atrito e ventilação mais perda no ferro para o ponto de 100% no ensaio a vazio e da própria perda de atrito e ventilação. A perda no ferro é considerada a mesma para todos os pontos de carga. O valor calculado foi de 0,140 kW. Na IEC a perda no ferro é calculada para todos os pontos no ensaio a vazio utilizando da perda constante e da perda de atrito e ventilação zero. Seus valores estão expressos na Tabela 5 para o motor analisado. A perda no ferro em carga também é obtida para todos os pontos do ensaio, utilizando de uma interpolação. Os resultados obtidos estão expressos conforme Tabela 6.

**Tabela 5** - Perda no ferro no ensaio a vazio IEC.

V (%)	110	100	95	90	60	50	40	30
$P_{fe}$ (W)	77,12	54,83	47,92	42,06	18,03	12,40	7,94	4,59

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

**Tabela 6** - Perda no ferro, ensaio em carga IEC.

Conjugado (%)	V (%)	$U_i$ (vazio) (V)	$P_{ferro}$ (vazio) (W)	$U_i$ (carga) (V)	$P_{ferro}$ (carga)
125	110	241,70	77,12	209,80	48,25
115	100	220,09	54,83	210,93	48,88
100	95	209,22	47,92	212,73	49,92
75	90	198,39	42,06	214,43	50,94
50				215,66	51,71
25				217,75	53,12

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Diferente da ABNT a IEC não aplica a correção do freio dinamométrico. Desta forma, o conjugado medido não é corrigido para determinar as perdas suplementares do MIT, podendo acarretar em diferenças nos resultados do fator de correlação.

A última observação e não menos importante é no processamento do rendimento do motor. Para a ABNT as perdas são corrigidas utilizando diretamente da correção de  $R_2$  para uma temperatura de 25°C. As perdas calculadas estão expressas conforme Tabela 7. Já a IEC utiliza um fator de correção da temperatura do enrolamento  $K_\theta$  para corrigir todas as perdas no processamento do rendimento. Seus resultados estão expressos conforme Tabela 8.

**Tabela 7** – Processamento do rendimento ABNT.

	Resistência do estator corrigida para 25 °C ( $\Omega$ )						1,3837
Conjugado (%)	150	125	100	75	50	25	
Conjugado corrigido (N.m)	9,200	7,700	6,080	4,640	3,160	1,540	
Perda estator corrigida (kW)	0,284	0,202	0,133	0,088	0,054	0,031	
Escorregamento corrigido (pu)	0,065	0,054	0,041	0,031	0,020	0,010	
Perda do rotor corrigida (kW)	0,227	0,157	0,093	0,053	0,024	0,006	
Potência de saída corrigida (kW)	3,238	2,732	2,198	1,694	1,160	0,575	
Perdas totais corrigidas (W)	671,754	504,770	359,577	265,729	196,092	151,050	
Rendimento (%)	82,7	84,3	85,9	86,4	85,5	79,2	
Fator de potência	0,88	0,86	0,84	0,79	0,70	0,49	

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

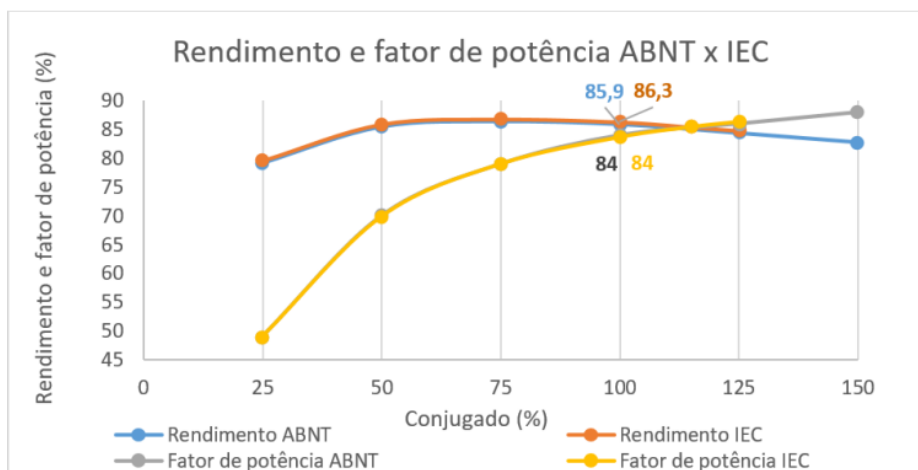
**Tabela 8** – Processamento do rendimento IEC.

	Fator de correção da temperatura para enrolamentos de cobre ( $K\theta$ )						1,0062
Conjugado (%)	125	115	100	75	50	25	
Perda estator corrigida (W)	198,16	171,40	130,78	86,12	53,02	30,84	
Escorregamento corrigido (pu)	0,0530	0,0480	0,0398	0,0301	0,0200	0,0100	
Perda do rotor corrigida (W)	158,82	132,72	94,70	54,89	25,08	6,40	
Potência de saída corrigida (W)	2.749,06	2.551,58	2.210,34	1.702,32	1.165,55	577,57	
Perdas totais (W)	491,15	434,35	349,70	258,33	190,68	148,12	
Fator de potência	0,86	0,85	0,84	0,79	0,70	0,49	
Rendimento (%)	84,8	85,5	86,3	86,8	85,9	79,6	

Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

Conseqüentemente essas diferenças resultam em variações na eficiência do MIT entre as duas normas. Para o motor ensaiado nesse artigo o método da IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014) obteve rendimento maior do que a ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018). A eficiência calculada utilizando o método da IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014) apresentou valor de 86,3% com um fator de potência de 84% e para a ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) a eficiência calculada foi de 85,9% também com um fator de potência de 84%. A Figura 4 ilustra a curva do rendimento e fator de potência.

**Figura 4** – Curva de rendimento x Fator de potência.



Fonte: elaborada pelos autores, 2021.

## 5 Conclusões

Foi observado que ao se aplicar o método de ensaio, utilizando a IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014), a eficiência do motor foi ligeiramente maiores do que quando aplicando o método de ensaio da ABNT NBR 17094-3:2018 (ABNTa, 2018), apresentando uma variação de 0,4 pontos percentuais. Assim, conclui-se que mesmo com as diferenças nos procedimentos e algumas variações nos valores das perdas calculadas entre as normas, o valor obtido das eficiências do motor ensaiado apresentou-se próximos quando comparados os resultados. Porém para questões de eficiência energética, sabe-se que a IEC 60034-30-1:2014 (IECb, 2014) possui classes de rendimentos maiores que a ABNT 17094-1:2018 (ABNTb, 2018). Desta forma, não se pode desconsiderar o fato que o mesmo motor pode apresentar resultados de rendimentos diferentes quando submetidos a ensaios com a ABNT 17094-3:2018 (ABNTa, 2018) e com a IEC 60034-2-1:2014 (IECa, 2014) impactando em diferenças mais expressivas.

## Referências

ABNT<sup>a</sup> - **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17094-3:** Motores de indução trifásicos – Métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2018.

ABNT<sup>b</sup> - **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 17094-1:** Máquinas Elétricas Girantes Parte 1 Motores de indução trifásicos - Requisitos, Rio de Janeiro, 2018.

ALMEIDA, A.T. et al. Policy options to promote energy efficient electric motors and drives in the EU. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.74, p. 1275–1286, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2017.01.112.

AS/NZS<sup>a</sup>, 1359.102.3. **Rotating Electrical Machines - General requirements - Methods for determining losses and efficiency**, 2004.

AS/NZS<sup>b</sup>, 1359.5 - **Rotating Electrical Machines -General requirements Part 5: Three-phase cage induction motors-High efficiency and minimum energy performance standards requirements**, 2004.

BRUNNER, C.U. et al. **New technology needs new policy - From component to systems**, Coimbra: EEMODS, 2017.

C. I. KS, 60034-1. **Máquinas elétricas rotativas parte 2-1 metodos padrão para determinar as perdas e a eficiência dos ensaios (excluindo maquinas para veículos de tracção)**, 2008.

EMSA. **Policy Guidelines for Electric Motor Systems - Part 2: Toolkit for Policy Makers**, Canada: 4E Energy efficient End-use Equipment, 2014.

FERREIRA, C.A. **Motor Elétrico Premium**, Rio de Janeiro: Eletrobras; International Copper Association Brazil, 2016.

GB, 18613. **National Standard of the People's Republic of China Minimum Allowable Values of Energy Efficiency and Energy Efficiency Grades for Small and Medium Three-Phase Asynchronous Motors**, 2012.

GB/T, 1032. **Test procedures for three-phase induction motors (IEC 60034-2-1:2007, Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)**, NEQ), 2012.

IEC<sup>a</sup>, 60034-2-1. **Rotating Electrical Machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)**, Geneva, Switzerland, 2014.

IEC<sup>b</sup>, 60034-30-1 **Rotating Electrical Machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)**, Geneva, Switzerland, 2014.

IS, 15999-2-1. **Índia Standard – Rotating Electrical Machines part 2 - method of test section 1 standard methods for determining losses e efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)**, 2011.

JACQUES,R.R. et al. **Performance evaluation of induction motors fed by PWM voltage with magnetic equivalent circuits**, EEMODS, 2017.

JIBRAN, M. et al. **The importance of additionality in evaluating the economic viability of motor-related energy efficiency measures**, EEMODS, 2017.

NOM, -016-ENER. **Eficiência energética de motores de corrente alterna trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla, en potência nominal de 0,746 kW a 373 kW Límites método de prueba y marcado**, 2016.

PHILIPS,R.; TIEBEN,R. **Improvement of Electric Motor Systems in Industry (IEMSI)**, EEMODS, 2017.

**SOUSA, L.B. Comparação dos Métodos de Ensaio de Motores de Indução Trifásicos Utilizando as Normas ABNT 17094-3:2018, IEC 60034-2-1 e IEC/TS 60034-2-3:2013.** 2020. Dissertação (Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

**YAMACHITA, R. A. Determinação de perdas e rendimento em motores elétricos empregando termografia infravermelha.** 2013. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.