



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SÃO PAULO
CAMPUS SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Alison Santos Aleixo
André Carlos da Silva
Fabio Conde Rodrigues
Marcos Antônio Dias Junior

Ensaio a vazio e de rotor bloqueado de um motor de indução
com e sem tratamento HVOF.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São
Paulo . Campus São José dos Campos,
como requisito para obtenção do Título de
Técnico em Automação sob orientação do
Professor Msc. Claudio Luis dos Santos

São José dos Campos
2014

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) defendido e aprovado em
_____ de _____ de 2014, pela banca examinadora constituída pelos
professores:

Prof. Msc. Claudio Luis dos Santos
Orientador

Prof. André Luiz Mendes Moura

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, que permitiu que tivéssemos empenho e capacidade de realizar esse projeto. Em segundo ao corpo docente que nos orientou e colaborou com o andar do trabalho. Agradecemos também aos nossos colegas de classe, que não deixaram que nenhum grupo desistisse por conta das dificuldades encontradas. Também a Engeman manutenção industrial que nos forneceu o motor utilizado no trabalho depositando a sua confiança em nós. Ultimamente, agradecemos a nós mesmos, como grupo, em todo empenho e dedicação depositados aqui, todas as horas fora do período escolar, que não foram gastas em vão, e que compuseram a realização desse projeto. Muitas pessoas, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial gostaríamos de agradecer:

O orientador, professor Msc. Claudio Luis dos Santos, por acreditar em nossa capacidade, valorizar o nosso trabalho e contribuir para o nosso crescimento pessoal e intelectual, a ajuda do técnico de laboratório Danilo que nos acompanhou e teve grande importância na parte prática de nosso projeto junto com Professor André Moura que demonstrou disposição e atenção para nós, mesmo fora de seus horários de aula.

Sumário

| | |
|---|----|
| LISTA DE FIGURAS | 4 |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS | 5 |
| RESUMO | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2. OBJETIVOS | 9 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 3.1. Rotor gaiola de esquilo | 10 |
| 3.2. Rotor de dupla gaiola de esquilo | 11 |
| 3.3. Aspersão térmica | 13 |
| 3.4. Aspersões térmicas HVOF..... | 13 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 15 |
| 4.1. Materiais | 15 |
| 4.2. Métodos | 15 |
| 4.2.1 Bancada de testes | 15 |
| 4.2.2 Fase inicial | 16 |
| 4.2.3 Desmontagem do motor..... | 18 |
| 4.2.4 Tratamento térmico..... | 18 |
| 4.2.5 Ajustes | 20 |
| 4.2.6 Etapa final | 20 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 21 |
| 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 25 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 26 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Rotor do tipo gaiola de esquilo..... | 10 |
| Figura 2. Vista em corte de um rotor de dupla gaiola de esquilo..... | 12 |
| Figura 3. Formação do revestimento..... | 13 |
| Figura 4. Peça em processo de aspensão térmica HVOF..... | 14 |
| Figura 5. Bancada de ensaios elétricos..... | 15 |
| Figura 6. Base metálica utilizada para fixação do motor e ensaios com o rotor bloqueado..... | 16 |
| Figura 7. Ligação duplo triângulo..... | 16 |
| Figura 8. Ligação estrela..... | 17 |
| Figura 9. Motor assíncrono trifásico desmontado..... | 18 |
| Figura 10. Rotor do tipo gaiola de esquilo em que foi feito o estudo, antes do tratamento térmico..... | 19 |
| Figura 11. Rotor do tipo gaiola de esquilo após receber tratamento HVOF..... | 19 |
| Figura 12. Rotor Após usinagem..... | 20 |
| Figura13. Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes fazendo a partida direta a vazio no motor antes do tratamento térmico..... | 21 |
| Figura 14. Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes com o rotor bloqueado antes do tratamento térmico..... | 22 |
| Figura 15. Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes fazendo a partida direta a vazio no motor após o tratamento térmico..... | 23 |
| Figura 16. Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes com o rotor bloqueado após o tratamento térmico..... | 24 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

| Símbolo | Descrição |
|---------|--|
| HVOF | <i>High Velocity Oxygen Fuel (alta velocidade de oxigênio e combustível)</i> |
| AC | <i>Alternating current</i> (Corrente alternada) |
| DC | <i>Direct current</i> (Corrente contínua) |
| VS | Velocidade de Sincronismo |
| VR | Velocidade real do rotor |
| V | Volt |
| A | Ampere |
| TCC | Trabalho de conclusão de curso |

RESUMO

Este trabalho apresenta o comportamento de um motor de indução antes e após um processo de tratamento superficial com HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel - alta velocidade de oxigênio e combustível*). Um motor assíncrono, mais conhecido como motor de indução, é um motor elétrico AC (alternating current . corrente alternada) no qual a corrente elétrica no rotor necessária para produzir torque é induzida por indução eletromagnética do campo magnético do estator. Um motor de indução, portanto, não requer comutação mecânica, excitação separada ou auto-excitação para a transferência da energia do estator para o rotor, como é feito em motores universais, DC (Direct current . corrente contínua) e motores síncronos. Os motores de indução podem ser do tipo rotor bobinado ou gaiola de esquilo. No rotor gaiola de esquilo, o mais utilizado pela indústria, não há possibilidade de alteração da corrente de partida através da alteração da resistência do rotor. Por isso foi desenvolvido o motor de indução de gaiola dupla. Sendo assim, surgiu a ideia de tratar o rotor do motor de indução com gaiola de esquilo simples com o processo de HVOF com o objetivo de obtenção de um rotor com vantagens do rotor de gaiola dupla. Para investigar o comportamento do motor, as medições de corrente foram realizadas nas seguintes condições: 1) motor funcionando a vazio antes do tratamento, 2) motor funcionando com rotor bloqueado antes do tratamento, 3) motor funcionando a vazio após o tratamento de HVOF e, 4) motor funcionando com rotor bloqueado após o tratamento de HVOF. Os resultados mostram que a técnica visa à redução da corrente de pico. Além disso, o processo de HVOF também possibilita a proteção do rotor possibilitando a sua utilização em áreas com alto índice de corrosão.

Key-words: Motor de indução trifásico, Rotor gaiola de esquilo, Rotor de dupla gaiola de esquilo, Tratamento HVOF

ABSTRACT

This work shows the behavior of an asynchronous motor before and after of a High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) treatment process. An induction or asynchronous motor is an AC electric motor in which the electric current in the rotor needed to produce torque is induced by electromagnetic induction from the magnetic field of the stator winding. An induction motor therefore does not require mechanical commutation, separate-excitation or self-excitation for all or part of the energy transferred from stator to rotor, as in universal, DC and large synchronous motors. An induction motor's rotor can be either wound type or squirrel-cage type.

To investigate the motor's behavior, the measurements of the motor's current was done in the following conditions: 1) motor working without load before the treatment, 2) motor working with the locked rotor before the treatment, 3) motor working without load after the HVOF treatment and 4) motor working with the locked rotor after the treatment. This work also shows a method to take into account the lost in the squirrel cage rotor when a voltage without a sinusoidal shape is applied in the stator. The results shows that the HVOF technique can be applied to protect the rotor of the motor against corrosion without lost its operation characteristics.

Key-words: Three-phase induction phase, squirrel cage rotor, Dual squirrel cage rotor, Treatment HVOF

1. INTRODUÇÃO

O motor elétrico mais utilizado na indústria é o motor de indução trifásico com rotor em gaiola de esquilo, devido sua robustez, facilidade de manutenção e bom rendimento. Um dos maiores problemas neste equipamento é que o torque de partida é reduzido em relação a corrente absorvida (FRANCHI,2013). No caso do motor estudado neste trabalho a corrente de partida é 6,67 vezes maior que a corrente nominal (dados de placa do motor), isto força os projetistas a desenvolverem métodos para amenizar este efeito, visando evitar surtos na rede elétrica da planta.

Pensando na importância do motor de indução trifásico com rotor em gaiola de esquilo e neste problema apresentado, este TCC (Trabalho de conclusão de curso) visa fazer um estudo para melhorar a corrente de partida. Uma das grandes preocupações do projeto de um motor de indução é a forma de atingir as características de partida necessárias para o acionamento da carga mecânica por ele acionada. Motores com torque acelerante insuficiente podem falhar ao partir a carga devido a problemas de sobreaquecimento, além de impor à rede elétrica quedas de tensão de longa duração, o que ocasiona uma redução da qualidade da energia na instalação. Em motores de grande potência nominal e com partida direta pela rede elétrica, normalmente adota-se uma das técnicas para atingir o compromisso entre as características de partida e as de regime: (1) ranhuras do rotor com dupla gaiola ou (2) ranhuras no rotor constituídas por barras profundas (FITZGERALD, KINGSLEY JR. e KUSKO, 1961).

A seguir no capítulo 2 serão apresentados os objetivos deste trabalho, nos capítulos 3, 4 e 5 irão ser detalhados respectivamente, a fundamentação teórica, os materiais e métodos utilizados para se realizar os ensaios e os resultados obtidos.

2. OBJETIVOS

- 1) Aplicar uma camada de HVOF na camada superficial de um rotor gaiola de esquilo e verificar os resultados na corrente de partida de um motor de indução trifásico.
- 2) Melhorar a resistência a corrosão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como o princípio do tratamento é a inserção de um material em sua camada superficial para aproximá-lo de um rotor de dupla gaiola (porém em um processo mais simples e utilizando menos material), irão ser apresentados os conceitos de um rotor em gaiola de esquilo, rotor de dupla gaiola e aspensão de material HVOF.

3.1. Rotor gaiola de esquilo

Este tipo de rotor é constituído por barras de cobre ou alumínio colocadas nas ranhuras formadas pelo núcleo magnético do rotor. Suas extremidades são unidas por anéis do mesmo material das barras, a fim de interliga-las em curto-circuito, como mostra a Figura 1 (NEVES, 2004).

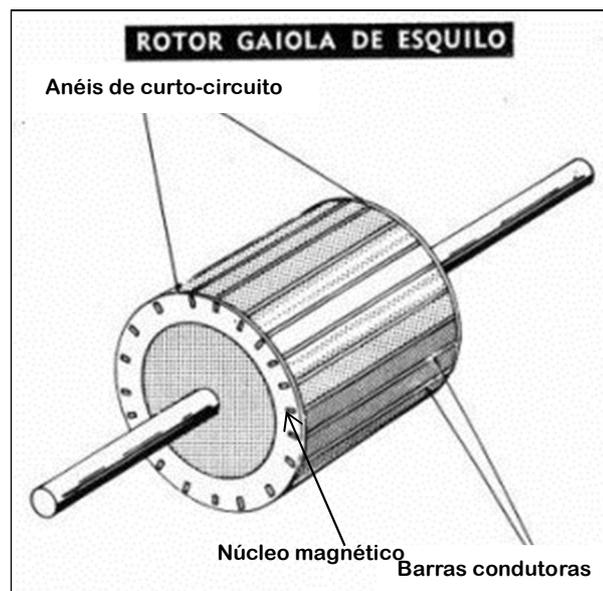


Figura 1- Rotor tipo gaiola de esquilo

O rotor é submetido ao campo magnético girante formado pelo grupo de bobinas do estator. Como consequência, nesses condutores (barras da gaiola de esquilo) circulam correntes induzidas, devido ao movimento do campo magnético. Segundo a lei de Lenz, as correntes induzidas tendem a se opor às variações do campo que as geraram (o campo original), desta forma estas correntes que circulam no rotor

formam um campo magnético contrário ao campo magnético do estator. Isso faz com que o rotor seja atraído pelo campo do estator, e como este campo magnético é girante o rotor faz o movimento rotacional tendo como eixo os dois mancais que o sustentam (dianteiro e traseiro). O rotor tende a acompanhar o campo magnético do estator com a mesma velocidade, porém isso não acontece, pois o rotor permanece em velocidade menor que a do campo girante. Se o rotor alcançasse a velocidade do campo magnético do estator, não haveria sobre ele tensão induzida o que o levaria a parar. Na verdade a diferença de velocidade entre os dois campos magnéticos é o que movimenta o rotor (NEVES,2004). Essa diferença recebe o nome de escorregamento e é dada percentualmente por:

$$S = \frac{V_s - V_R}{V_s} \times 100$$

Onde V_s é a velocidade de sincronismo e V_R é velocidade real do rotor.

A grande desvantagem deste rotor é na partida, ele absorve uma corrente muito grande nesse momento devido a sua baixa resistência elétrica. Uma saída para este problema dependendo do conjugado que se necessita no momento da partida, é utilizar um motor com rotor em dupla gaiola de esquilo. Porém, mas isto é utilizado em casos específicos, pois este tipo de motor é mais caro (implica uma dificuldade maior na construção) (EBAH, 2011). Desta forma este trabalho faz um tratamento térmico simples na camada superficial de um rotor em gaiola de esquilo, para aumentar sua resistência elétrica na partida e obter o mesmo funcionamento de um rotor de dupla gaiola.

3.2. Rotor de dupla gaiola de esquilo.

Como o rotor em gaiola de esquilo apresenta uma resistência muito baixa (para que haja melhor rendimento) criou-se um método engenhoso para se obter uma resistência que varie de acordo com a frequência do rotor. O arranjo do rotor de dupla gaiola consiste de duas camadas de barras condutoras curto-circuitadas por anéis nas extremidades. Veja a vista em corte na Figura 2 (FITZGERALD, KINGSLEY JR. e KUSKO, 1961)

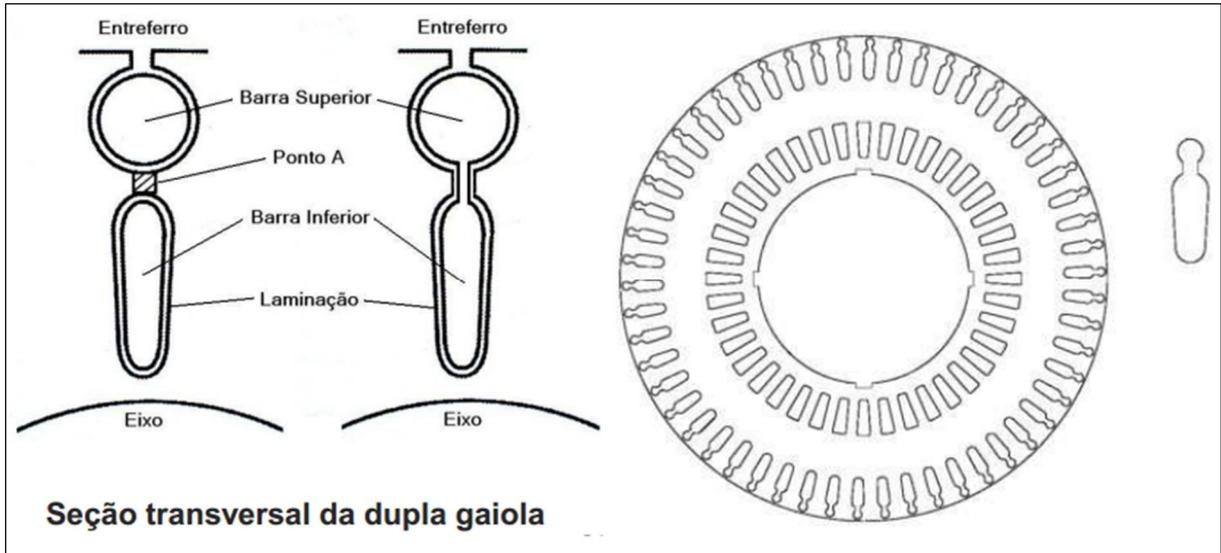


Figura 2 - Vista em corte de um rotor de dupla gaiola de esquilo

Este arranjo é eficiente pelo fato de que com o rotor parado, a frequência dele é igual à frequência do estator. Conforme ocorre a aceleração do motor a frequência do rotor decresce . talvez a 2 ou 3 Hz com um motor de 60Hz em plena carga. Desta forma o rotor é projetado a obter uma resistência de maior proporção na partida, pois se sabe que neste instante a frequência é mais alta do que em qualquer outro período de funcionamento do motor, sendo assim a corrente é forçada a passar na camada superficial do condutor (este fenômeno é chamado efeito pelicular), sendo assim a gaiola que fica na superfície do rotor têm as barras mais finas e de um material que apresenta maior resistividade elétrica. Então na partida a corrente irá circular em um circuito de maior resistência elétrica, diminuindo assim o seu valor, e no decorrer do processo de aceleração a frequência no rotor vai diminuindo até o motor alcançar sua velocidade em regime permanente, neste momento a frequência no rotor pode alcançar de 2 a 3Hz, como este valor de frequência é bem menor a corrente elétrica tende a voltar-se para o interior do rotor, e no interior tem-se a gaiola de baixa resistência (a mesma do rotor de gaiola de esquilo). A corrente percorrendo esta gaiola irá produzir um campo magnético mais forte e com isso o motor volta as suas condições normais de trabalho, com uma ótima eficiência (FITZGERALD, KINGSLEY JR. e KUSKO, 1961).

3.3. *Aspersão térmica*

É o nome dado a um grupo de processos utilizados para deposição de revestimentos metálicos ou não metálicos em vários tipos de substratos, que incluem desde plásticos até aços. Neste processo a matéria prima da camada de revestimento, na forma de pó ou arame, é fundida por uma fonte de calor química ou elétrica e impulsionada, por ar comprimido ou outros gases, de encontro a uma superfície, que já deve estar preparada em relação à limpeza rugosidade e aquecimento. As partículas aderem no substrato por mecanismos de natureza mecânica, química-metalúrgica, e física dependendo da temperatura da fonte de calor e da velocidade das partículas, que pela sobreposição formam camadas superficiais com óxidos e poros. Ao fim da aspersão a camada fica como pode se ver na Figura 3

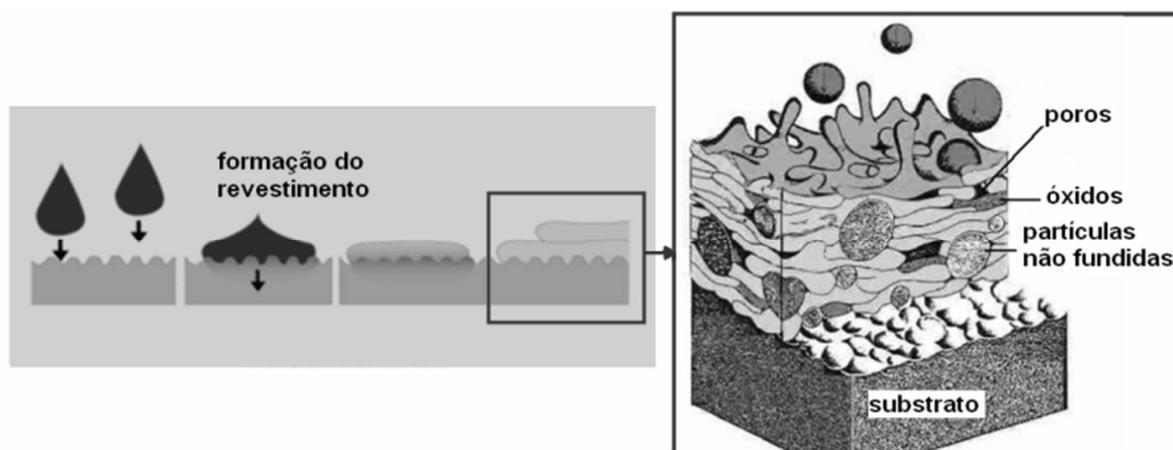


Figura 3- Formação do revestimento

Existem várias formas de fazer a aspersão térmica e um dos mais eficientes para o caso deste trabalho é o tipo HVOF (MARANHO,2006).

3.4 *Aspersões térmicas HVOF*

A aspersão térmica HVOF é um processo de deposição comumente utilizado em indústrias como aeronáutica, aeroespacial e petroquímica, dentre outras, devido às propriedades que confere as peças aspergidas, tais como de adesão ao substrato, resistência ao desgaste e a corrosão, isolamento térmico e elétrico, e compatibilidade biológica. No processo de aspersão, o material a ser depositado

encontra-se na forma de pó, e é injetado em uma chama de alta velocidade e temperatura (temperatura acima de 2500 °C). As partículas são aquecidas e projetadas em alta velocidade, se depositando em uma superfície previamente preparada, deformando-se após impacto e aderindo ao substrato. O revestimento que se forma apresenta propriedades diretamente ligados à composição do pó (BASTOS et al. ,2011). Na Figura 4 tem-se um processo de aspersão térmica HVOF.



Figura 4 - Peça em processo de aspersão térmica HVOF

Neste tipo tem-se uma pistola de aspersão onde ocorre essencialmente a combustão de gás (propileno/propano/hidrogênio/acetileno) ou líquido (querosene) dentro de uma câmara pressurizada. Os pós são introduzidos nesta câmara por um alimentador pressurizado e são aquecidos até a temperatura desejada, depois são impulsionados com alta velocidade até o substrato. Estas altas velocidades (por volta de 750 m/s) são responsáveis pelo menor tempo de trajeto entre o bocal da pistola e o substrato e também pelo aumento de energia das partículas. Desta forma se obtém revestimentos mais densos com menos teores de óxidos, de 0,2 a 5%, e porosidade menor que 2% (MARANHÃO,2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Motor de indução trifásico tipo gaiola de esquilo 132S (Marca Weg); Wattímetro (Mininpa . ET . 4091); Multímetro (Politerm Pol -41 A); Painel elétrico para ensaio de motor;

Software BS157data logging system versão 2.0.0.4; Notebook Positivo premium S5055; Base metálica para fixação do motor; Ferramentas manuais para desmontagem e fixação do motor.

4.2. Métodos

4.2.1 Bancada de testes

Inicialmente foi construído um painel de acionamento elétrico para se realizar os ensaios no motor. Este feito de uma peça de madeira e alguns componentes elétricos para se fazer o circuito de comando como: disjuntor motor trifásico, uma chave de duas posições e um contator trifásico. Como pode-se observar na Figura abaixo.

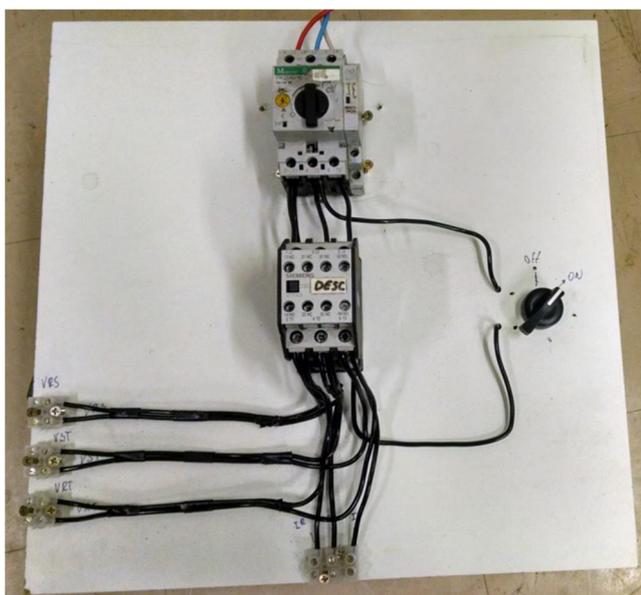


Figura 5 . Bancada de ensaios elétricos

Após esta confecção foi elaborada uma base metálica para a fixação dos pés do motor, tendo a finalidade de proporcionar o ensaio com o rotor bloqueado, esta base

é constituída por duas barras metálicas de metalon soldadas, tendo quatro furos onde o motor é posicionado, a Figura 6 mostra o motor já fixado na base.



Figura 6 . Base metálica utilizada para fixação do motor e ensaios com o rotor bloqueado

4.2.2 Fase inicial

Estes equipamentos foram levados ao Laboratório do IFSP campus São José dos Campos, para se utilizar a tensão elétrica do local.

Foi feito a ligação duplo triângulo no motor, assim como pode-se verificar o esquema elétrico na Figura 7.

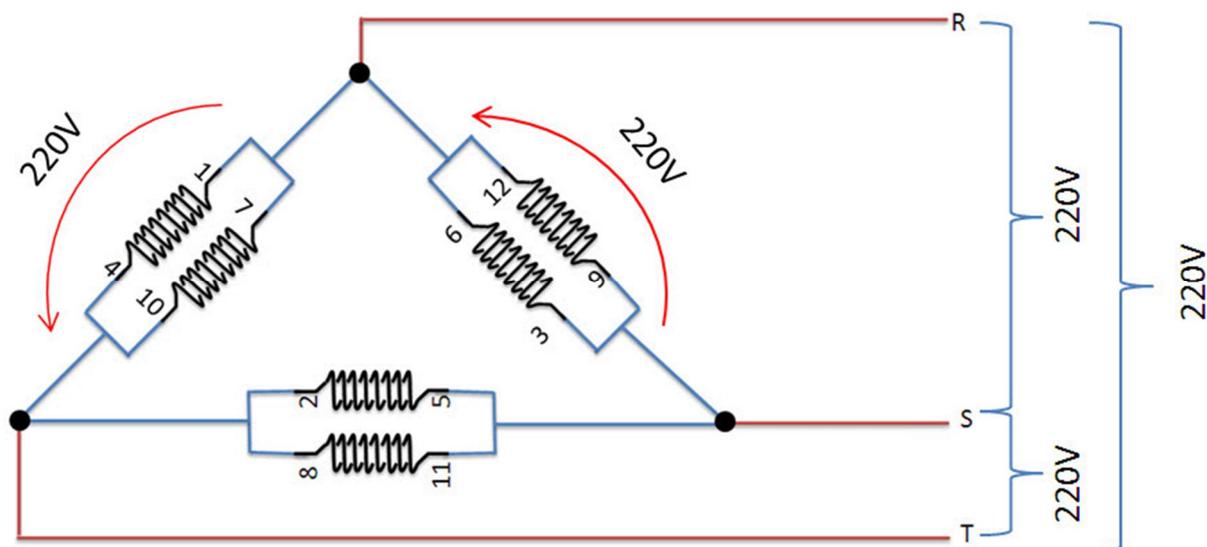


Figura 7 - Ligação duplo triângulo

como ele possui 6 grupos de bobinas (doze pontas) este tipo de configuração permite que ele tenha o rendimento nominal de trabalho aplicando-se uma tensão de 220V. Fixando o mesmo a base realizaram-se os testes a vazio, sendo estes produzidos em três dias diferentes (a fim de reduzir os erros por oscilação de tensão

da rede), utilizando o multímetro coletaram-se os valores de tensão no dia e com o alicate wattímetro os dados de corrente. Nesta ultima análise o instrumento de medição foi conectado a um notebook, com auxílio de um software do fabricante (BS157data logging system versão 2.0.0.4) os valores de corrente em relação ao tempo foram aplicados em um gráfico, obtendo-se como amostragem do sinal o período de 0,8 segundos. Estes dados foram exportados o Excel para geração dos gráficos de corrente .

Após esta etapa mudou-se a ligação elétrica do motor, para ligação estrela veja o esquema elétrico na Figura abaixo.

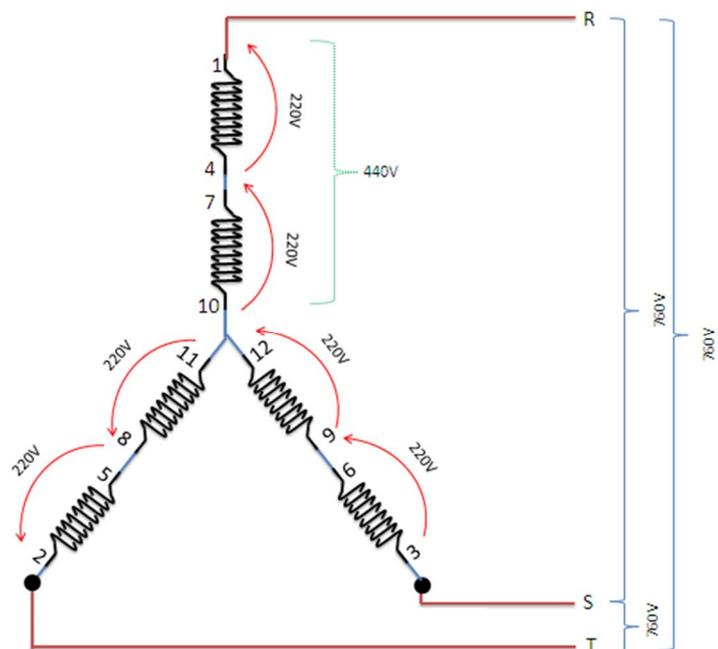


Figura 8 . Ligação estrela

Com este tipo de configuração, o motor está preparado para receber uma tensão de 760V para ter seu rendimento normal. Como a tensão do local é 220V aplicou-se apenas 25% da tensão ao motor, com isso ele perdeu o torque na ponta do eixo, permitindo o ensaio com rotor bloqueado.

Para bloquear o rotor utilizaram-se dois alicates de pressão presos à ponta do eixo, e as outras extremidades dos alicates ficaram travadas no rasgo feito na base metálica, após o rotor devidamente travado, deu-se a partida nele e anotaram-se os valores de corrente e tensão com os mesmos instrumentos de medições utilizados no teste anterior, e também realizou-se essa experiência em três dias diferentes para minimizar os efeitos da oscilação da rede elétrica da instituição.

4.2.3 Desmontagem do motor

Quando todos os dados necessários para o estudo do trabalho foram coletados, o motor elétrico foi desmontado no próprio laboratório de automação industrial, utilizando-se apenas ferramentas simples, como chaves de fenda e combinada, alicates e um martelo. A intenção desta etapa é remover o rotor do motor onde será feito o tratamento térmico HVOF.

Veja na Figura 9 a disposição das peças após a desmontagem.

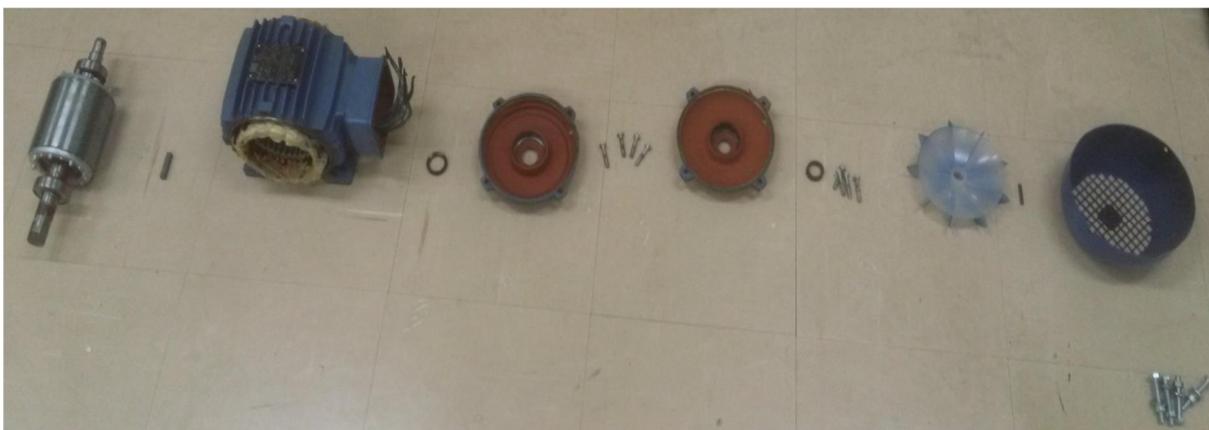


Figura 9 . Motor assíncrono trifásico desmontado.

Observação: Os rolamentos posicionados no rotor não foram sacados devido à falta de recursos.

4.2.4 Tratamento térmico

Com auxílio do docente orientador do grupo o rotor foi levado à empresa OGRAMAC, especializada em tratamentos HVOF que atua no ramo da indústria, atendendo grandes empresas como a PETROBRAS. Este tipo de tratamento geralmente é utilizado para melhorar a resistência mecânica do material à corrosão. No caso deste trabalho utilizou-se desta técnica por ela proporcionar a aplicação de pouco material e mantê-lo bem fixo ao substrato, como o entreferro do motor é de apenas 0,6mm não poderia se acrescentar muito material.

A OGRAMAC fez a aspensão térmica HVOF no rotor utilizando a liga de Stellite 6 (uma liga de cobalto, cromo e carbeto de tungstênio . www.stellite.com). Terminado este processo o rotor foi levado à instituição para se realizar os testes finais.

A seguir pode-se observar o rotor antes e após a aspersão térmica HVOF, nas Figuras 10 e 11.



Figura 10 . Rotor do tipo gaiola de esquilo em que foi feito o estudo, antes do tratamento térmico.



Figura 11 . Rotor do tipo gaiola de esquilo após receber tratamento HVOF.

4.2.5 Ajustes

Ao receber o rotor tentou-se montar o equipamento, porém houve um problema mecânico de dimensionamento, o rotor extrapolou o limite do entreferro e não entrava mais dentro do estator. Rapidamente se iniciou um processo de usinagem utilizando-se um torno convencional e uma ferramenta diamantada (devido à alta dureza do material aplicado no rotor), dando a possibilidade de adequar o diâmetro do rotor a um tamanho específico onde permitisse a montagem e funcionamento correto do motor. O rotor após usinado pode ser visto na Figura 12



Figura 12 . Rotor após usinagem.

Tendo este empecilho solucionado avançou-se a ultima etapa.

4.2.6 Etapa final

Montou-se o motor e ao ensaia-lo verificou-se um ruído e uma vibração incomum, logo constatou-se que no momento do tratamento HVOF algumas partículas adentraram nos rolamentos (onde não haviam sido retirados devido a falta de recursos) então foi necessário sacá-los e fazer uma limpeza e lubrificação.

Novamente montou-se o motor e realizaram-se os testes da mesma forma como os testes iniciais foram feitos, o resultados estão no próximo capítulo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente serão estudados os gráficos dos ensaios anteriores ao tratamento térmico e abordadas as características deste tipo de motor no momento de partida, tanto a vazio quanto com carga.

Pode-se observar o comportamento das correntes antes do tratamento térmico nas Figuras 13 e 14.

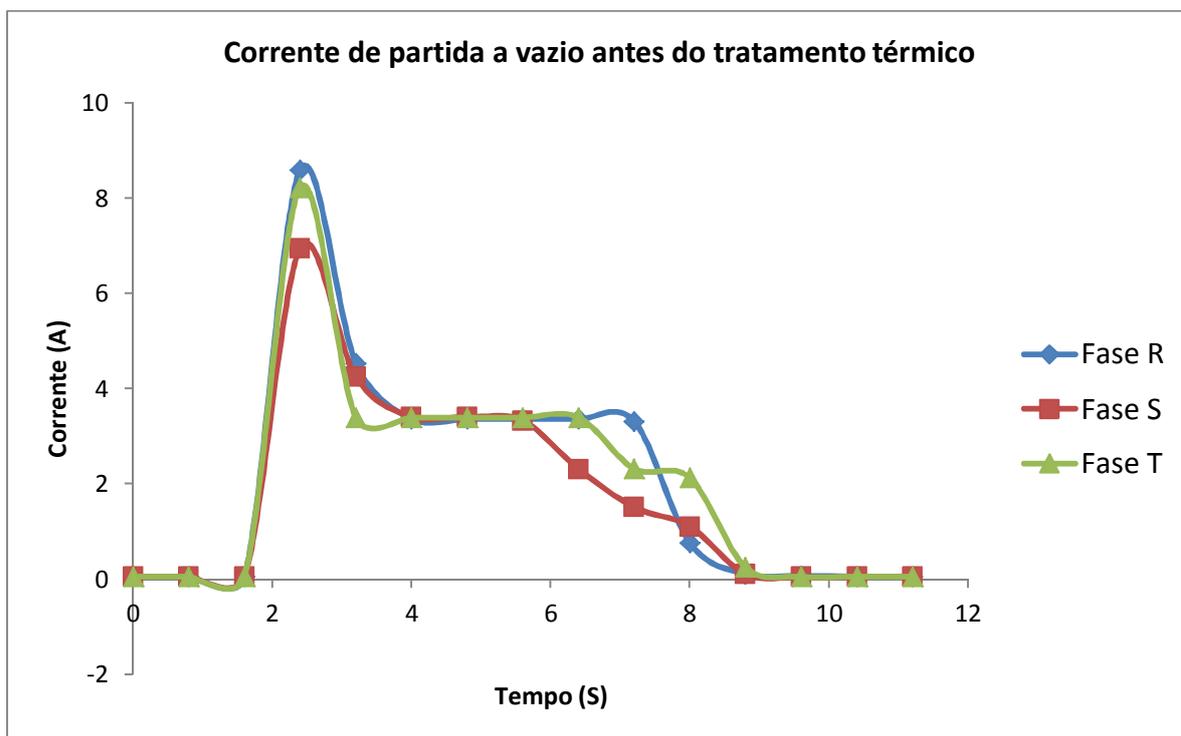


Figura 13 . Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes fazendo a partida direta a vazio no motor antes do tratamento térmico.

Neste caso a maior corrente no momento da partida é na fase R de 8,59 A seguida pela fase T de 8,22 A e a fase S de 6,95 A. Já é possível observar uma maior diferença entre a corrente no momento da partida e de trabalho, que chega a ser de 2,57 vezes maior na partida.

A Figura 14 mostra o comportamento do motor com carga.

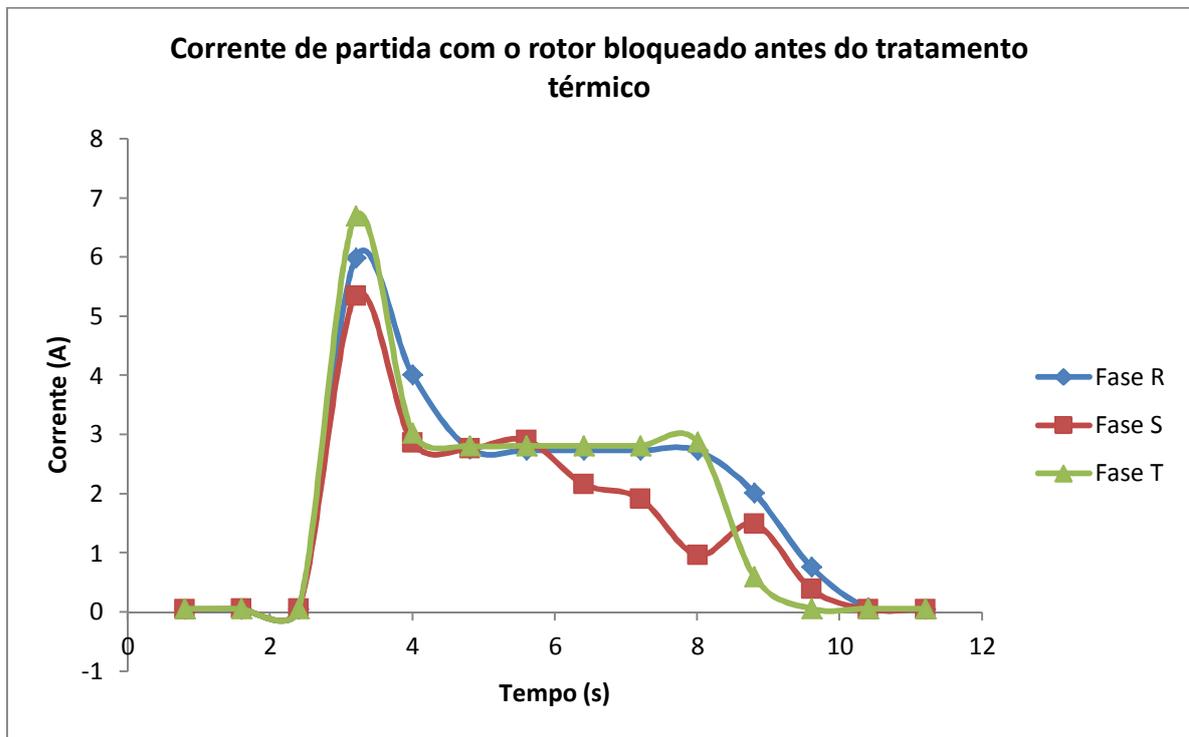


Figura 14 - Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes com o rotor bloqueado antes do tratamento térmico.

Neste ensaio verificou-se que houve uma corrente de partida diferente em cada fase, provavelmente causada pela diferença de números de espiras em cada enrolamento, como este motor nunca foi alterado, esta é uma característica do fabricante. Como se vê a maior corrente de partida foi na fase T de 6,69 A, seguido pela fase R de 5,99 A e a fase S de 5,35 A.

A partir destes dados verifica-se que a corrente de partida é 2,38 vezes maior que a corrente nominal. Como este ensaio simula carga ele é o mais próximo do que se acontece na prática, porém não se viu uma corrente de 6,67 vezes maior que a corrente nominal, como visto nos dados fornecidos pela WEG na placa do motor, pelo tempo de amostragem do sinal, que é baixa.

Agora nota-se os resultados após o tratamento térmico:

A corrente de partida com o rotor a vazio e rotor bloqueado pode-se verificar nas Figuras 15 e 16.

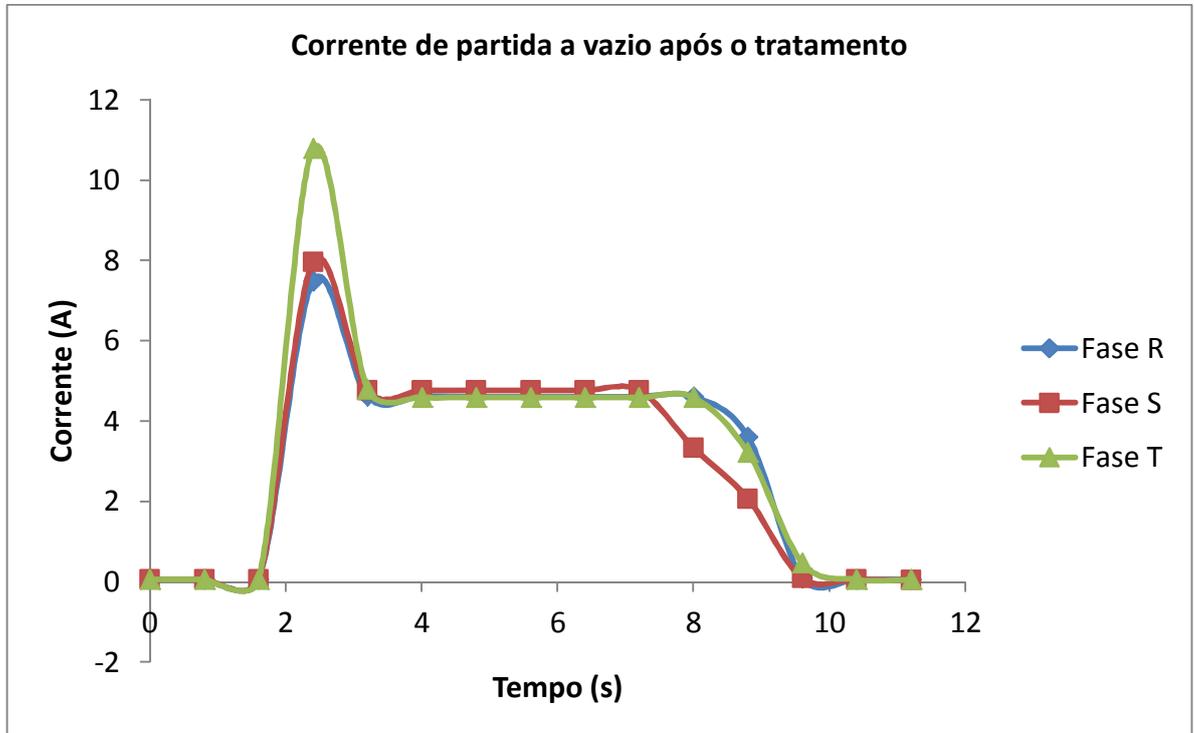


Figura 15 . Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes fazendo a partida direta a vazio no motor antes do tratamento térmico.

Observando o gráfico de corrente de partida a vazio após o tratamento térmico, observa-se a mesma característica do gráfico anterior os valores de corrente estão mais próximos, e neste caso uma fase tem o valor de corrente bem distante das outras.

Os valores de corrente de pico nas fases R, S e T foram respectivamente 7,49A, 7,96A, e 10,79A. Desta forma em relação ao teste antes do tratamento térmico houve uma diminuição de 12,8% na fase R, porém aumentou-se a corrente de partida nas fases S e T em 14,53% e 23,72%.

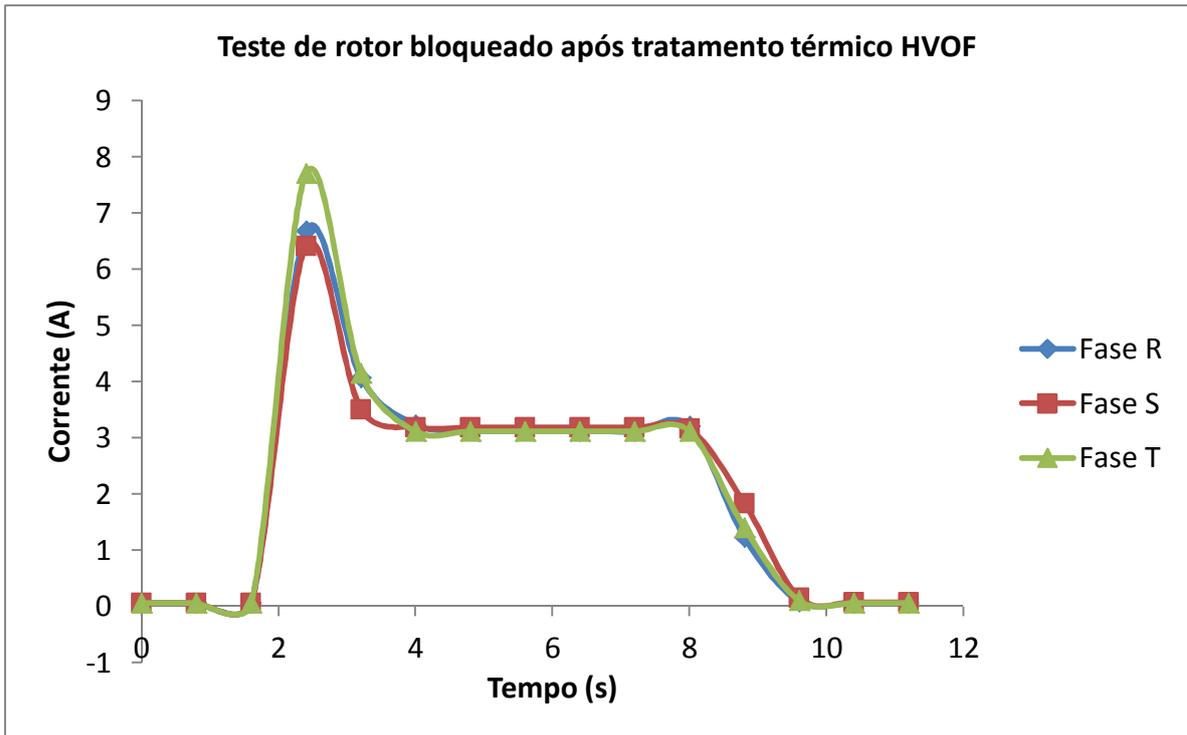


Figura 16 - Gráfico da média dos valores obtidos nos três dias de testes com o rotor bloqueado após o tratamento térmico.

Como foi alterada a estrutura química do material já se vê uma diferença no gráfico, os valores de corrente estão mais próximos e não há tantas oscilações de uma fase para a outra.

Após o tratamento tem-se que os valores de pico de corrente na partida nas fases R, S e T respectivamente são: 4,07A, 6,41A e 7,7A. É possível notar que se diminuiu a fase R em 32,05% em contra partida as fases S e T aumentaram respectivamente de 19,81% e 15,1%. Ao somar os resultados obtidos nas três fases ainda se vê um pequeno aumento de 2,87% no geral.

Por fim não se conseguiu diminuir a corrente de pico como demonstram os resultados obtidos, nos dois tipos de testes houve aumento na corrente partida.

Mesmo assim, o rotor agora apresenta uma característica mecânica mais resistente à oxidação.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Simulando carga verifica-se uma pequena variação nas correntes, devido a forma com que foi aplicada a aspersão HVOF. Uma forma de obter melhores resultados seria:

1) Alcançar diretamente a gaiola do rotor, devido a constituição física do mesmo as chapas de ferro-silício, usadas para se fazer um núcleo magnético e concatenar as linhas de campo, cobriram com uma fina camada a gaiola, então o material aplicado entrou em contato com estas chapas, ou seja, o núcleo do rotor.

2) Fazer pequenas ranhuras no rotor, separando o material aplicado em pequenas linhas em volta do substrato. Com isso o núcleo magnético não teria se tornado inteiriço, com a redução das correntes parasitas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NEVES, Luciano. Maquinas Elétricas . Tecnologia . Escola Senai % Santos Dumont+3ª edição 2004

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY Jr., Charles; KUSKO, Alexander. Máquinas Elétricas. Editora McGraw . Hill do Brasil, LTDA. 1961.

MARANHO, Ossimar. Aspersão térmico de ferro fundido branco multicomponente . Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo, 2006. 188 pg.

FRANCHI, Claiton moro. Acionamentos elétricos. Editora Érica Ltda. 4ª edição 2013

BASTOS, Gabriela; CARREÑO, Neftali Lenin Villareal; GONÇALVES, Margarete Regina Freitas; CAVA, Sergio da Silva. Estudo de matérias-primas alternativas para a obtenção de pós para uso em processos de aspersão térmica. XX congresso de iniciação científica UFPEL. CIC 2011.

EBAH. Motores Elétricos.

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABn2YAB/trabalho> acesso em 28/05/2014.