

QUALIDADE DE ENERGIA EM MÁQUINAS ELÉTRICAS SÍNCRONAS CONVENCIONAIS E ROTOR DE ÍMÃ PERMANENTE PARA APLICAÇÃO NO CONTROLE DE TENSÃO EM MICROCENTRAIS

POWER QUALITY IN CONVENTIONAL SYNCHRONOUS ELECTRIC MACHINES AND PERMANENT MAGNET ROTORS FOR VOLTAGE CONTROL APPLICATIONS IN MICRO POWER PLANTS

José Leandro Casa Nova Almeida¹

Caio Francisco da Paixão²

Kaio da Costa Amaral³

João Caetano da Silva⁴

Alex Franco Ferreira⁵

RESUMO: Geradores com Ímãs Permanentes têm ganhado crescente popularidade, tornando-se alternativas competitivas aos geradores síncronos convencionais. No entanto, ainda existem diversos desafios e oportunidades de melhorias no desenvolvimento de novos projetos, especialmente no cumprimento de dois objetivos fundamentais: garantir a alta qualidade da energia gerada e reduzir os custos de fabricação. Este estudo apresenta os resultados de análises experimentais realizadas com ferramentas de medição da qualidade de energia em máquinas síncronas convencionais com rotores de polos salientes, com e sem enrolamentos amortecedores, além de máquinas com rotores de ímã permanente com inclinação. Avaliaram-se a forma de onda e os níveis de distorção harmônica total (DHT). A máquina síncrona convencional com enrolamento amortecedor apresentou DHT de 0,8%, enquanto a máquina com rotor de ímã permanente com inclinação de 7° apresentou DHT de 2,1%. Os resultados demonstram a viabilidade de ambas as tecnologias para aplicação em microcentrais elétricas, com níveis harmônicos aceitáveis e boa qualidade da tensão para fins de controle da tensão.

15

Palavras-chave: Máquina Elétrica Síncrona. Geração de Energia. Máquina Elétrica com Ímã Permanente.

ABSTRACT: Permanent Magnet Generators (PMGs) have been gaining popularity as competitive alternatives to conventional synchronous generators. Despite this progress, significant challenges and opportunities for enhancement remain in the development of new designs, particularly in meeting two key requirements: ensuring high power quality and reducing manufacturing costs. This proposal aims to investigate and compare the performance of conventional synchronous machines—featuring salient pole rotors with and without damper windings—and permanent magnet machines with skewed rotors. Using automated power quality measurement tools, the study will analyze waveform characteristics and Total Harmonic Distortion (THD). Preliminary results indicate that synchronous machines with damper windings achieve lower THD (0.8%) compared to permanent magnet rotors with 7° skew (2.1%). The research intends to validate the applicability of both technologies for voltage control in micro power plants, supporting efficient and reliable small-scale energy generation systems.

Keywords: Synchronous Electric Machine. Power Generation. Permanent Magnet Electric Machine.

¹Doutor e Professor, Instituto Federal do Rio de Janeiro.

²Engenheiro Eletricista e Discente de Pós-graduação *latu sensu* em Automação Industrial. Universidade de Vassouras.

³Engenheiro Eletricista e Discente de Pós-graduação *latu sensu* em Automação Industrial. Universidade de Vassouras.

⁴Engenheiro Eletricista e Discente de Pós-graduação *latu sensu* em Automação Industrial. Universidade de Vassouras.

⁵ Mestre e Professor/Orientador. Universidade de Vassouras.

INTRODUÇÃO

Observa-se um crescimento do emprego de máquinas de ímãs permanentes em diversos segmentos de atividades industriais. Dois aspectos contribuem de forma significativa para tal: a evolução dos materiais magnéticos aplicáveis e as geometrias e projetos inovadores. Neste contexto, muitos estudos anteriores, como os de Bianchi e Bolognani (2002), Jahns e Soong (1996), entre outros, evidenciam a prática de combinar diferentes técnicas construtivas, permitindo que esta modalidade de máquina elétrica apresente evolução crescente quanto a seu desempenho. Isto inclui a redução de perdas e aumento da relação torque/peso, como de forma específica mostrado por Hanitsch (1989) e Chabban (1994).

Nos geradores de energia, o nível de distorção harmônica na forma de onda gerada de tensão representa um dos principais parâmetros na definição da qualidade da energia. Muitas topologias, técnicas construtivas e geometrias tornaram-se, nos últimos anos, foco de pesquisas, nos geradores em geral e naqueles que empregam ímãs permanentes em particular, visando gerar energia de qualidade a custos razoáveis. Podem ser citadas (GIERAS, 1997), entre outras iniciativas: a atuação na distribuição dos enrolamentos (distribuídos e fracionados); a atuação na inclinação dos ímãs e/ou das ranhuras do estator; a adoção de variações na forma geométrica dos dentes das ranhuras do estator, no desvio rotacional e/ou a utilização de diferentes comprimentos do arco de circunferência dos ímãs permanentes; cita-se ainda até mesmo a forma de distribuição física dos ímãs no rotor.

Neste trabalho, os resultados centralizam-se na comparação entre as três configurações de ângulos $3,7^\circ$; 5° e 7° da Máquina Síncrona com Ímãs permanentes no rotor e a Máquina Síncrona Convencional com escovas e rotores com e sem enrolamento amortecedor, conforme Figuras 1, 2 e 3, essas configurações tiveram resultados obtidos de forma à vazio e com cargas resistivas, se pretende, basicamente correlacionar a forma de onda, DHTv, tensão e corrente, com intuito de ter uma conclusão sobre qual é a melhor forma de gerar energia elétrica.

Figura 1- Estator de máquina síncrona convencional



Fonte: dos autores, 2025.

Figura 2- Rotor sem enrolamento amortecedor da máquina síncrona



Fonte: dos autores, 2025.

Figura 3- Estator e Rotor da Máquina Síncrona Com Enrolamento Amortecedor



Fonte: dos autores, 2025.

DESENVOLVIMENTO DOS PROTÓTIPOS VERSUS MÁQUINAS CONVENCIONAIS

Desenvolveram-se os protótipos a partir da transformação de um motor de indução trifásico com enrolamento concentrado e rotor gaiola de esquilo, de 12 polos e 250 W, como mostrado na Figura 4. Substituiu-se o rotor original por um novo, com ímãs permanentes de neodímio inseridos no seu interior. Os ímãs permanentes foram especificados tomando por base método analítico (ALMEIDA et al, 2010), pelo qual geometria e outros parâmetros são determinados a partir dos dados construtivos do enrolamento. O método abrange também o ângulo de inclinação desses ímãs em relação ao eixo do rotor. As configurações dos três rotores construídos com os ímãs em diferentes inclinações são mostradas nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente com os ângulos de $3,7^\circ$; 5° e 7° .

18

Figura 4- Motor de indução padrão



Fonte: dos autores, 2025.

Figura 5- Rotor protótipo com ímãs inclinação intermediária - $3,7^\circ$



Fonte: dos autores, 2025.

Figura 6- Rotor protótipo com ímãs inclinação intermediária - $5,0^\circ$



Fonte: dos autores, 2025.

Figura 7- Rotor protótipo com ímãs inclinação intermediária - $7,0^\circ$



Fonte: dos autores, 2025.

A maior parte dos Geradores Síncronos são baseados em movimento rotacional, desde que seu funcionamento se baseia em um rotor constituído por um enrolamento energizado em corrente contínua que produz um campo constante no entreferro, ele é colocado em movimento por uma máquina primária, o Motor Síncrono recebeu este nome por conta do seu rotor, tendo em vista que seu rotor é sincronizado com o campo girante estabelecido pelo estator.

É evidente a importância dos rotores das máquinas síncronas convencionais, existem dois tipos deles, o rotor com enrolamento amortecedor e o rotor sem o enrolamento amortecedor, ele atua na partida do motor síncrono de rotor de polos salientes laminados e

garante estabilidade de velocidade perante variações bruscas de carga, o funcionamento dos motores deixa explícito a diferença entre esses dois, com o alto ruído que o motor faz quando não tem o enrolamento amortecedor.

AValiação Experimental

Os ensaios foram realizados tomando por base um sistema para controlar a velocidade do eixo do gerador, nas condições a vazio e com cargas de diversos valores acopladas aos terminais. Durante o ensaio procurou-se corrigir a velocidade para manter a frequência em 60 Hz.

Registraram-se valores de corrente, tensão, frequências, potência ativa e níveis totais de distorção harmônica da tensão (DHTv), bem como visualizaram-se as formas de onda resultantes. Inicialmente, realizou-se ensaios sem carga, com o objetivo de serem verificadas as condições iniciais e balizar a comparação com a condição posterior, do gerador com carga, empregando-se os dois fechamentos das bobinas, em triângulo e em estrela, onde os ensaios concentraram-se no fechamento das bobinas com o qual poderia se obter a tensão de referência torno de 220V.

20

Na ordem da menor para a maior inclinação dos ímãs, apresentam-se nas Figuras 5, 6 e 7 as formas de onda respectivas obtidas, devendo-se observar que, para um dado ângulo, não se registraram diferenças nestas formas de onda, entre as situações com e sem carga. As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os resultados dos ensaios, que foram em seguida comparados entre si, com propósito de se estabelecer devida correlação entre a inclinação dos ímãs permanentes e os níveis de DHTv presentes nas formas de onda.

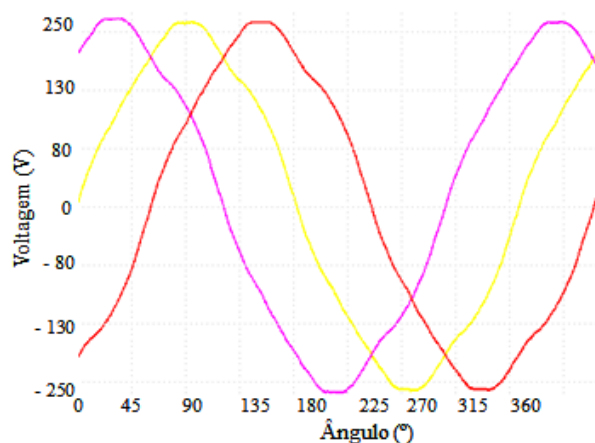
Ao decorrer do ensaio da Máquina Síncrona Convencional procurou-se corrigir a velocidade para manter a frequência em 60 Hz. Registraram-se valores de corrente, tensão, frequência, e distorção harmônica da tensão (DHTV), e forma de ondas.

Inicialmente, realizou-se ensaios com o enrolamento amortecedor, com o objetivo de serem verificadas as condições iniciais para comparar com a condição posterior, do gerador sem enrolamento amortecedor, onde os ensaios concentram-se com o fechamento das bobinas em 220 volts e 380 volts e em triângulo e estrela. Logo após foi feito sem o enrolamento amortecedor.

3.1 Gerador com ímãs de inclinação $3,7^\circ$

A forma de onda de tensão para as três fases apresentada na Figura 8 refere-se aos ensaios realizados sem carga, fechamento das bobinas da máquina em triângulo, tendo em vista a tensão em torno de 220V. Para este ensaio obtiveram os valores de tensão de 247V e DHTv de 4,5%.

Figura. 8. Forma de onda da tensão nas três fases do gerador com ímãs permanentes a $3,7^\circ$ com fechamento das bobinas em triângulo e sem carga.



Fonte: dos autores, 2025.

O Quadro 1 apresenta os resultados sem e com cargas resistivas para esta configuração. Para os cálculos de regulação de tensão feitos, o valor de referência nominal de tensão foi de 220V.

Quadro 1 – Resultados obtidos para o gerador com ímãs permanentes de inclinação $3,7^\circ$

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT (%)	Corrente (A)	Regulação de Tensão (%)
0	240	4,5	0	9
78	237	4,8	0,19	8
123	237	4,7	0,3	8
170	234	4,8	0,42	6
302	230	5,4	0,76	4
416	227	5,9	1,06	3

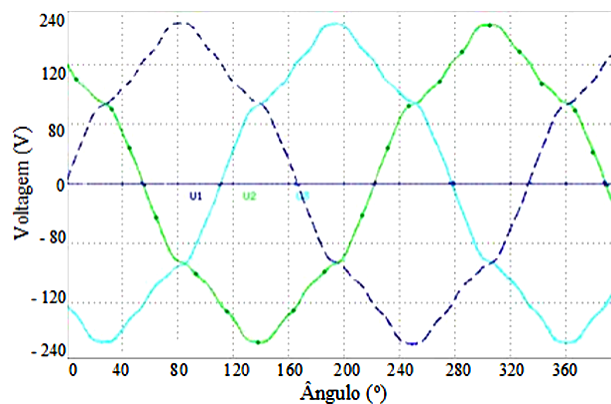
454	224	6	1,17	2
582	220	6,3	1,53	0
670	215	6,7	1,8	-2
703	214	6,8	1,9	-3

Fonte: dos autores, 2025.

3.2 Gerador com ímãs de inclinação 5°

Na Figura 9 ilustram-se as formas de onda de tensão obtidas para as três fases do gerador com ímãs inclinados a 5°. Novamente o fechamento das bobinas foi feito em triângulo e a tensão ser obtida de 220 V.

Figura 9 – Forma de onda das tensões nas três fases do gerador com ímãs de intermediária inclinação (5°) e fechamento em triângulo



Fonte: dos autores, 2025.

O Quadro 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com este protótipo, também com valor de tensão referência nominal de 220V para os cálculos de regulação de tensão.

Quadro 2 – Resultados obtidos para o gerador com ímãs permanentes de inclinação 5°

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT (%)	Corrente (A)	Regulação de Tensão (%)
0	200	8,2	0	-9

64	195	6,3	0,19	-11
100	193	8	0,3	-12
203	193	8,2	0,61	-13
216	189	8	0,66	-14

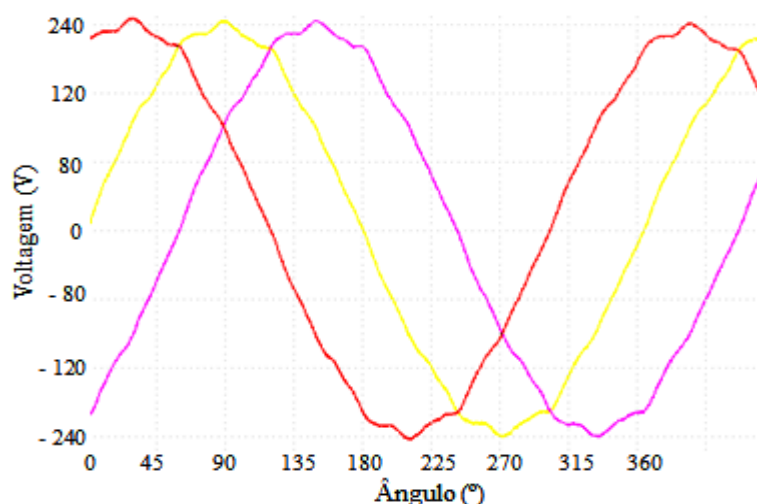
Fonte: dos autores, 2025.

3.3 Gerador com ímãs de inclinação 7°

O desenvolvimento dos ensaios para esta configuração apresentou diferença significativa em relação ao realizado para as demais. Tomou-se por base os resultados dos ensaios obtidos para as configurações anteriores, onde prevaleceu o fechamento em triângulo para obter a tensão próxima a 220V, somado ao fato de que, com o fechamento em estrela, há tendência de redução no nível de DHT_v , em comparação com o fechamento em triângulo (Hendershot e Miller, 1994). Decidiu-se, assim, pela utilização do fechamento em estrela, com a tensão de referência também 220V. A Figura 10 apresenta a forma de onda de tensão para as três fases, com o fechamento das bobinas em estrela, resultando na tensão medida de 235V e com DHT_v de 1,8%.

23

Figura 10. Forma de onda da tensão obtida para as três fases do gerador com ímãs permanentes a 7° com fechamento em estrela e sem carga.



Fonte: dos autores, 2025.

O Quadro 3 apresenta os resultados sem e com cargas resistivas para esta configuração. Para os cálculos de regulação de tensão o valor de referência nominal de tensão é de 220V.

O Quadro 3 – Resultados obtidos para o gerador com ímãs permanentes de inclinação 7^0

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT (%)	Corrente (A)	Regulação de Tensão (%)
0	225	2,1	0	2
72	218	1,8	0,19	-1
100	214	1,7	0,27	-3
129	202	1,6	0,37	-8
206	180	1,6	0,66	-18

Fonte: dos Autores, 2025.

3.4 Gerador Síncrono com enrolamento amortecedor

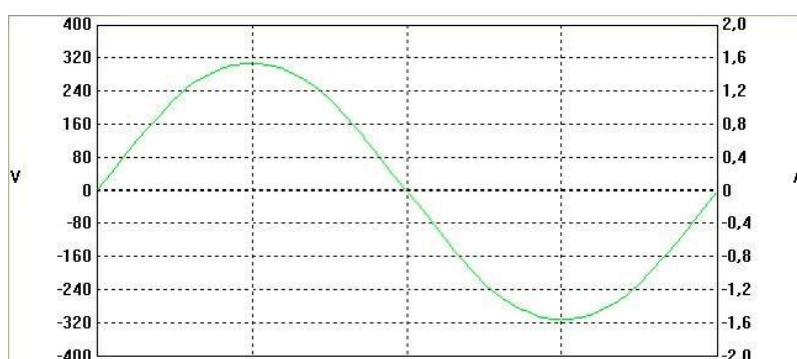
Primeiramente, iniciou-se com o enrolamento amortecedor, este enrolamento destina-se a amortecer oscilações que provoquem quebras no sincronismo, e que poderiam provocar a saída de serviço da máquina.

Ao decorrer da experiência a máquina teve seu fechamento em 220 volts e logo após em 380 volts, para se comparar o funcionamento da mesma com uma tensão maior.

24

A forma de onda da tensão representada, refere-se ao ensaio realizado á vazio, fechamento da bobina em triângulo tendo em vista a tensão em torno de 220 volts. Para este ensaio, obteve como resultado 0,9% de distorção harmônica.

Figura 11. Refere-se ao ensaio com enrolamento amortecedor sem cargas resistivas.

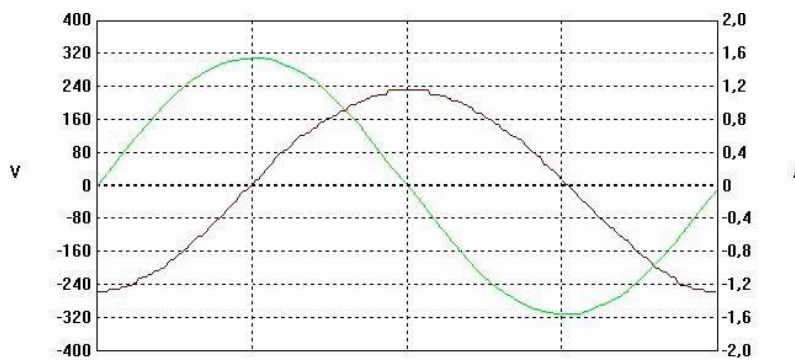


Fonte: dos Autores, 2025.

Em seguida, é apresentada a forma de onda de tensão e corrente, refere-se aos ensaios realizados com carga resistiva, fechamento da carga em estrela com lâmpadas de 100W e 127V.

A distorção harmônica da tensão com a presença das lâmpadas se manteve a mesma que se obteve no ensaio sem carga, e a distorção harmônica da carga foi de 4,3%.

Figura 12. Refere-se ao ensaio com enrolamento amortecedor com cargas resistivas.



Fonte: dos autores, 2025.

O Quadro 4 apresenta ensaios com o gerador com enrolamento amortecedor.

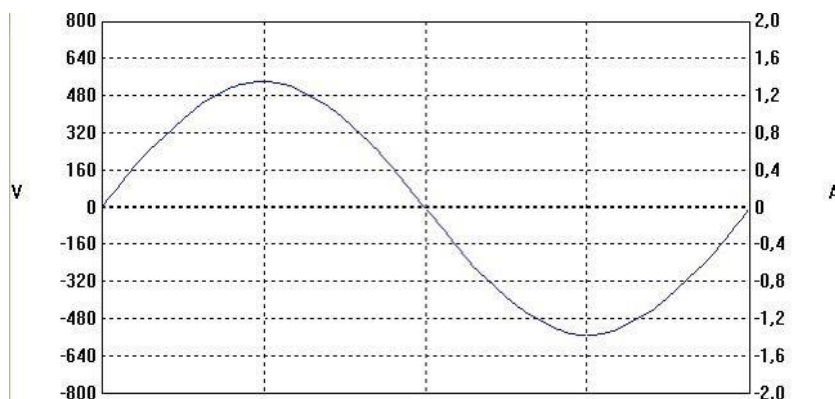
Quadro 4- Resultados obtidos para o gerador com enrolamento amortecedor, com a tensão em 220 volts.

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT da tensão (%)	Corrente (A)	DHT da corrente (%)
--	220,2 (V)	0,9 %	--	0,0 %
100 (W)	220,8 (V)	0,8 %	0,84 (A)	4,3%

Fonte: dos autores, 2025.

A forma de onda de tensão obtida refere-se ao ensaio de 380V á vazio, com o fechamento das bobinas em estrela. Para este ensaio, o resultado da distorção harmônica foi de 0,8%.

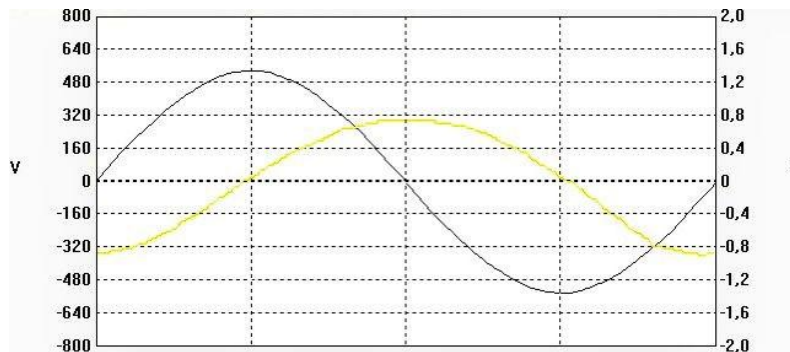
Figura13. Refere-se ao ensaio com enrolamento amortecedor sem cargas resistivas



Fonte: dos autores, 2025.

Seguindo, é apresentado a forma de onda de tensão e corrente, refere-se aos ensaios realizados com cargas, fechamento da carga em estrela com lâmpadas de 120W e 220V, pela **Figura 1** e Quadro 5. Neste ensaio é possível observar a mudança da forma de onda com a tensão em 380 Volts e a presença das cargas, considerando que a distorção harmônica foi de 7,8%.

Figura 14. Refere-se ao ensaio com enrolamento amortecedor com cargas resistivas.



Fonte: dos autores, 2025.

Quadro 5- Resultados obtidos para o gerador com o enrolamento amortecedor, com a tensão em torno de 380 volts.

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT da tensão (%)	Corrente (A)	DHT da corrente (%)
--	220,2 (V)	0,9 %	--	0,0 %
100 (W)	220,8 (V)	0,8 %	0,84 (A)	4,3%

Fonte: dos autores, 2025.

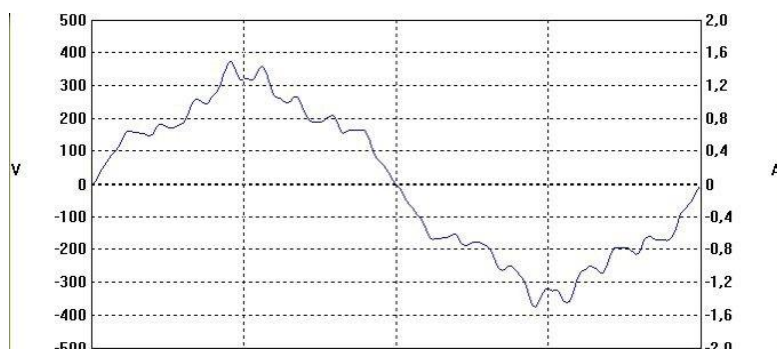
3.5 Gerador Síncrono sem enrolamento amortecedor

O desenvolvimento dos ensaios sem o enrolamento amortecedor apresentou diferença significativa em comparação aos que tinham o amortecedor, em relação ao aumento de ruídos, vibrações, ondulação de torque e ao mal funcionamento em algumas partes.

Realizou-se, primeiramente, ensaios a vazio, com o fechamento do gerador em triângulo duplo, tendo em vista a tensão em 220 volts.

Para este ensaio, o resultado da distorção harmônica da tensão foi de 14,9%, é possível notar diferença em comparação às outras formas de ondas encontradas.

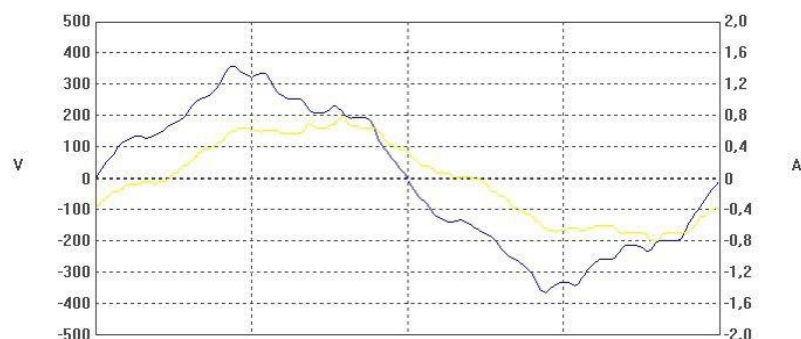
Figura 15. Refere-se ao ensaio sem o enrolamento amortecedor e sem carga resistiva



Fonte: dos autores, 2025.

Em seguida, o ensaio foi feito com cargas, fechamento das cargas em estrela, com lâmpadas de 60W e 127V, conforme Figura 15 e Quadro 6. É importante ressaltar, que neste ensaio a máquina não teve bom desempenho com 3 lâmpadas de 100W, sendo necessário substituir por lâmpadas de 60W.

Figura 15. Refere-se ao ensaio sem o enrolamento amortecedor e com cargas resistivas



Fonte: dos autores, 2025

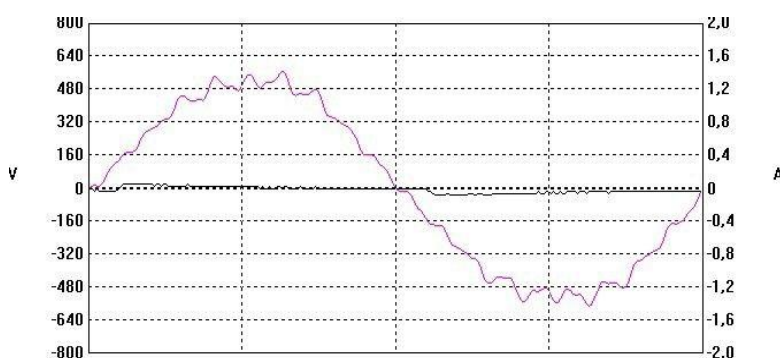
Quadro 6- Resultados obtidos para o gerador sem o enrolamento amortecedor, com a tensão em torno de 220 volts.

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT da tensão (%)	Corrente (A)	DHT da corrente (%)
--	219,1 (V)	14,9 %	--	0,0%
60 (W)	222,3 (V)	13,4%	0,50 (A)	0,0%

Fonte: dos autores, 2025

A forma de onda da tensão representada, refere-se ao ensaio a vazio, com fechamento do gerador em estrela, tendo em vista a tensão em 380 volts. Os resultados obtidos da Distorção Harmônica foram de 6,9%, é possível analisar uma forma de onda não muito boa, conforme Figura 16.

Figura 16. Refere-se ao ensaio sem o enrolamento amortecedor e sem cargas resistivas

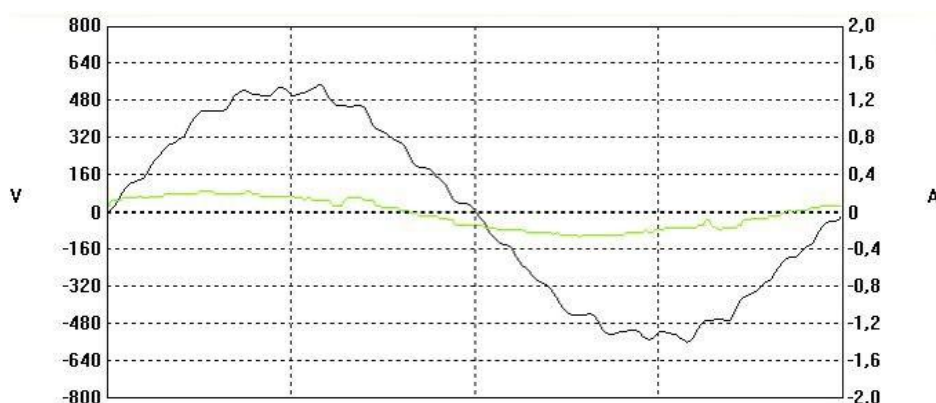


Fonte: dos autores, 2025

Em seguida, foi feito o último ensaio, com cargas resistivas de 40W e 220V, e o fechamento das cargas em estrela e do gerador também em estrela, podem se observar os resultados na Figura 17 e no Quadro 7

28

Figura 17. Refere-se ao ensaio sem o enrolamento amortecedor e com cargas resistivas



Fonte: dos autores, 2025

Quadro 7- Resultados obtidos para o gerador sem o enrolamento amortecedor, com a tensão em torno de 380 volts.

Potência (W) carga resistiva	Tensão (V)	DHT da tensão (%)	Corrente (A)	DHT da corrente (%)
--	379,4 (V)	6,9 %	0,040 (A)	0,0%
40 (W)	380,1 (V)	5,2 %	0,20 (A)	0,0%

Fonte: dos autores, 2025

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O Quadro 8 complementa os dados apresentados, referentes aos ensaios realizados, destacando-se os níveis de DHTv obtidos. Comparam-se os resultados obtidos das configurações dos ângulos com a os resultados obtidos do experimento feito com escovas e sem escovas.

Quadro 8 – Comparativo das três configurações Gerador com ímãs entre o Gerador Síncrono rotor com e sem enrolamento amortecedor

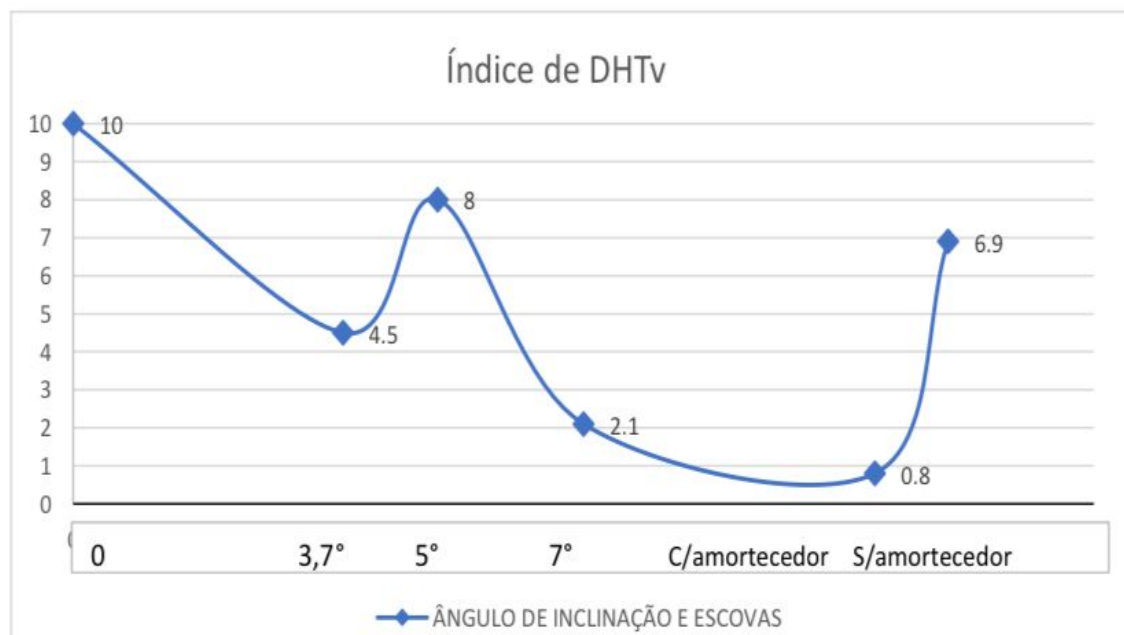
Ângulos de inclinação rotor com ímã permanente						
Fechamento das bobinas	3,7°		5°		7°	
	Triângulo Δ	Estrela Y	Triângulo Δ	Estrela Y	Triângulo Δ	Estrela Y
Sem carga						
Tensão (V)	240	421	200	350	135	225
DHT (%)	4,5	4,2	8	7	2,5	2,1
Com carga máxima admissível						
Tensão (V)	215	-	195	-	-	214
DHT (%)	6,7	-	8	-	-	1,7
Potência (W)	670	-	70	-	-	100
Gerador Síncrono convencional com escova						
Fechamento das bobinas	Com enrolamento amortecedor			Sem enrolamento amortecedor		
	Triângulo Δ	Estrela Y	Triângulo Δ	Estrela Y	Triângulo Δ	Estrela Y
Sem carga						
Tensão (V)	221,7	384,2	219	379,4		
DHT (%)	0,9	0,8	14,9	6,9		

Com carga máxima admissível				
Tensão (V)	220,7	380,3	221,0	378,3
DHT (%)	4,3	0,8	13,4	5,2
Potência (W)	300	360	180	120

Fonte: dos autores, 2025

A Figura 18 apresenta uma perspectiva evolutiva do nível de DHTv em relação às variações na inclinação dos ímãs permanentes e as variações dos ensaios feitos nos geradores síncronos com escovas. Tomou-se por base apenas os três pontos correspondentes aos ângulos e dois pontos da escova com e sem amortecedor além da condição dos ímãs alinhados (zero grau), mas é possível verificar-se que a curva tem uma tendência não linear.

Figura 16 - Curva evolutiva dos rotores de ímã com ângulos de inclinação e os dois rotores com rotor com enrolamento amortecedor e sem enrolamento amortecedor



Fonte: dos autores, 2025

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou os resultados de comparação de uma máquina protótipo de gerador com ímãs permanentes entre um gerador síncrono convencional com escovas sem e com enrolamento amortecedor, objetivando mostrar qual é a forma mais viável de gerar energia.

Como referência e contextualização dos estudos mostrados neste trabalho, o protótipo desenvolvido foi ensaiado em três configurações diferentes quanto ao ângulo de inclinação, relativo ao eixo do rotor, dos ímãs permanentes que o compuseram e o Gerador Síncrono Convencional com escovas foi ensaiado com o enrolamento amortecedor e sem o enrolamento amortecedor.

Os resultados experimentais obtidos mostraram uma boa qualidade de energia elétrica viável dos ensaios das três configurações de ângulos inclinados, em específico o ângulo de 7° que apresentou baixo nível de DHTv em comparação aos outros ângulos inclinados, e também apresentou uma boa qualidade de energia o Gerador Síncrono Convencional com escovas com o enrolamento amortecedor, ele também teve um baixo nível de DHTv e um bom funcionamento com cargas, ao contrário do Gerador sem o enrolamento amortecedor que no ensaio com as cargas não teve bom funcionamento e provocou a saída de serviço da máquina, sendo necessário trocar as lâmpadas para uma potência menor, é visível nas demonstrações de forma de onda a qualidade de energia elétrica não viável em algumas partes.

Espere-se que as duas melhores formas de gerar energia encontrada nesse trabalho oriente e estimule os empregos destas máquinas em diversas aplicações, constituindo-se em excelente opção na geração distribuída a partir de pequenas centrais elétricas. A máquina de pólos salientes onde o enrolamento é constituído por bobinas concentradas em torno das cabeças polares, elas são máquinas com muitos pólos e esse fato as leva a serem maiores de diâmetro, e a configuração de 7° apresenta uma menor dimensão, um aspecto que facilita a instalação e o transporte.

Segundo recomendações do Operador Nacional do Sistema (ONS, 2010), o requisito mínimo de DHTv deverá ser menor do que 3% para um gerador a ser conectado ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Diante disso, as configurações com ímãs de menor e intermediária inclinação e o Gerador sem amortecedor somente poderiam ser conectadas como geradores em sistemas isolados. Contudo, a configuração de maior ângulo de inclinação e o Gerador com o enrolamento amortecedor atenderia perfeitamente este requisito.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.L.C.N.; SOUZA, T.M.; FORTES, M.Z. Analytical method for the design of a machine with aligned and skewed permanent magnet. In *Procedures ISIE 2010 - IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 2010, p. 1210-1217.

ALMEIDA, J.L.C.N. ; ALBUQUERQUE, C. J. M. ; FORTES, M. Z. Análise da Qualidade de Energia de Pequenas Máquinas com Imãs Permanentes no Rotor como Gerador. In: IX CBQEE Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2011.

ALMEIDA J.L.C.N. Proposta de uma metodologia para obtenção de um Gerador Síncrono com rotor de imãs permanentes inclinados axialmente a partir de motor de indução para micro centrais elétricas. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Guaratinguetá: UNESP, 2010.

BIANCHI N.; BOLOGNANI, S. S. Design techniques for reducing the cogging torque in surface-mounted PM motors. *IEEE Transactions. Industrial. Applications*, v. 38, 2002, p. 1259-1265.

CHABBAN, F.B. Determination of the optimum rotor/stator diameter ratio of permanent magnet machines. *Electrical Machine Power System*, v. 22, 1984, p. 521-531.

GIERAS JACEK F., WING, MITCHELL. Permanent magnet motor technology. Editora Marcel Dekker, New York, 1997.

HANITSCH, R. Electromagnetic machines with Nd-Fe-B magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 80, 1989, p. 270-275.

HENDERSHOT, J.R., MILLER, T.J.E.. Design of brushless permanent-magnet motors. Hillsboro, OH Oxford Magna Physics Pub. Clarendon Press, 1994.

JAHNS, T.M.; SOONG, W.L. Pulsating Torque Minimization Techniques for Permanent Magnet AC Motor Drives – A Review. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 43, 1996, p. 321-330.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico *Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes*. 2009. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>. Acesso em: 10 jun 2010.

RUIZ, B.J.; RODRIGUEZ, V.; BERMANN, C. Analysis and perspectives of the government programs to promote the renewable electricity generation in Brazil. *Energy Policy*. 2007, p. 2989-2994.