

CAPÍTULO IV

ENSAIOS EXPERIMENTAIS DO PROTÓTIPO DO GERADOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO ASSIMÉTRICO

4.1 - Considerações Iniciais

Uma das propostas deste estudo consiste na realização de ensaios experimentais, do gerador em questão, em uma propriedade rural. Desta forma, o gerador de indução será acoplado a uma carga trifásica simétrica praticamente resistiva – lâmpadas de vapor de sódio que, em um segundo momento, receberá o acoplamento da *carga resistiva de acoplamento*.

O gerador assimétrico será ensaiado experimentalmente também em vazio; em laboratório, visando mostrar a compatibilidade do modelo a diversos níveis de tensão da rede.

As máquinas primárias, cujas características estão apresentadas no **Anexo A**, utilizadas para entrarem com o conjugado de turbina foram:

- ❖ Máquina de corrente contínua – Ensaio a vazio, em laboratório.
- ❖ Motor a gasolina 1600 - Ensaio com carga, na propriedade rural.

Os principais equipamentos de medição utilizados nas montagens foram:

- ❖ Saga 4000 para a leitura de tensões, correntes e potências.
- ❖ Tacômetro digital para a leitura da rotação do gerador.
- ❖ Amperímetro, voltímetro e frequencímetro digital.

As unidades e notações utilizadas aqui foram as mesmas do capítulo anterior.

4.2 – Ensaio do gerador de indução assimétrico em vazio

O esquema da montagem dos equipamentos para a realização do ensaio em vazio está ilustrado na figura 4.1.

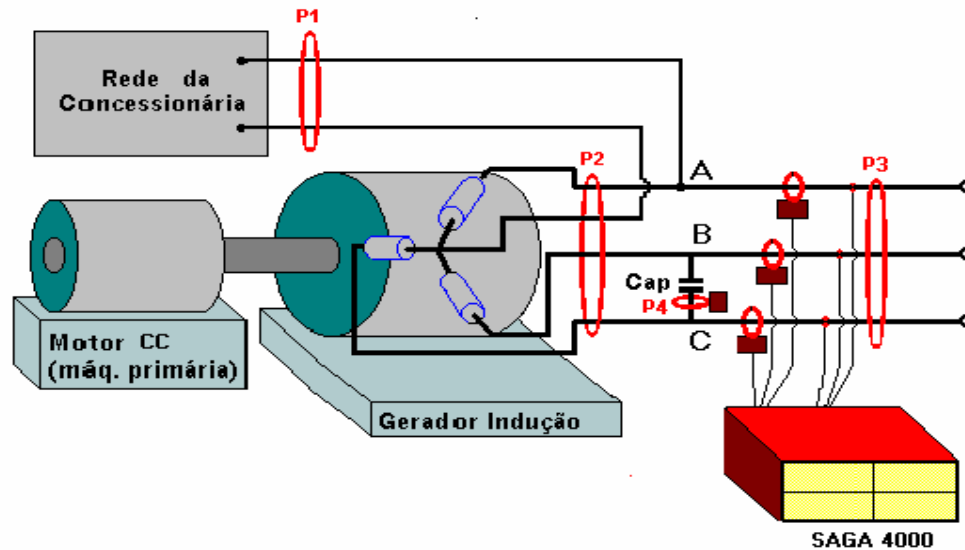


Figura 4.1 – Esquema de montagem do ensaio em vazio

Este ensaio experimental é compatível com a simulação relativa à tabela 3.13; cujos dados são reapresentados na tabela 4.1.

TABELA 4.1 – VALORES APLICADOS AO SISTEMA						
Cap (F)	b	c	W _r (rpm)	Z _{tri_a} (Ω)	Z _{tri_b} (Ω)	Z _{tri_c} (Ω)
2,41E-05	0,95	1	1.803	XXX	XXX	XXX
R _A (Ω)	R _B (Ω)	R _C (Ω)	Z _{aY} (Ω)	Z _{bY} (Ω)	Z _{cY} (Ω)	V _{Rede} (V)
XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	220 ∠0°

Na figura 4.1, p₁, p₂, p₃ e p₄ representam as posições aonde foram realizadas as medições de tensão, corrente e potência. Em p₃, foi realizada

também a medição de frequência. Os resultados das medições são apresentados nas figuras 4.2 e 4.3.

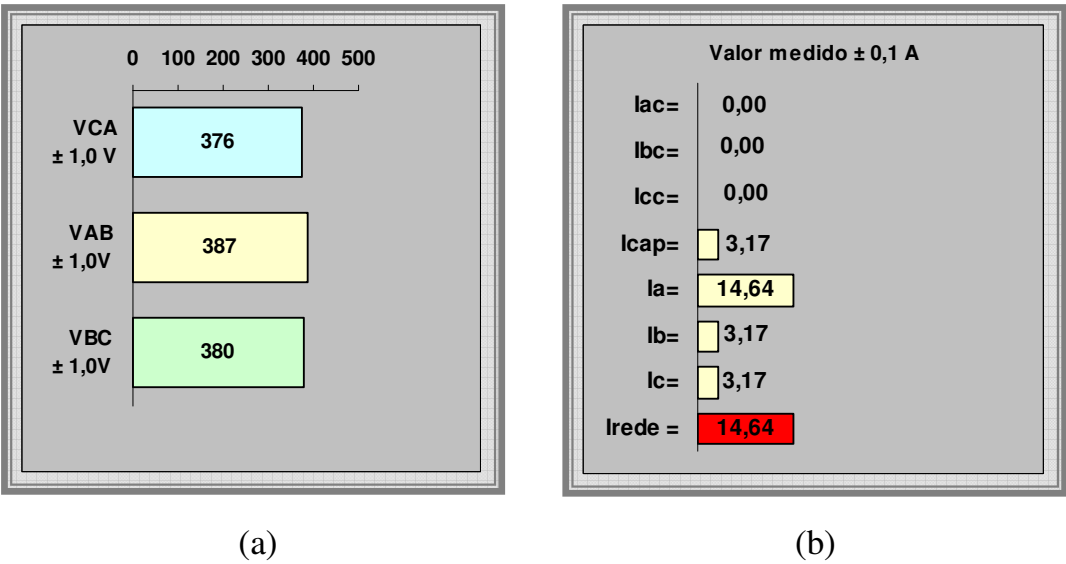


Figura 4.2 – (a) Valores das tensões nos terminais do gerador (V), (b) valores relativos às correntes na carga, no capacitor, no gerador e da rede (A).

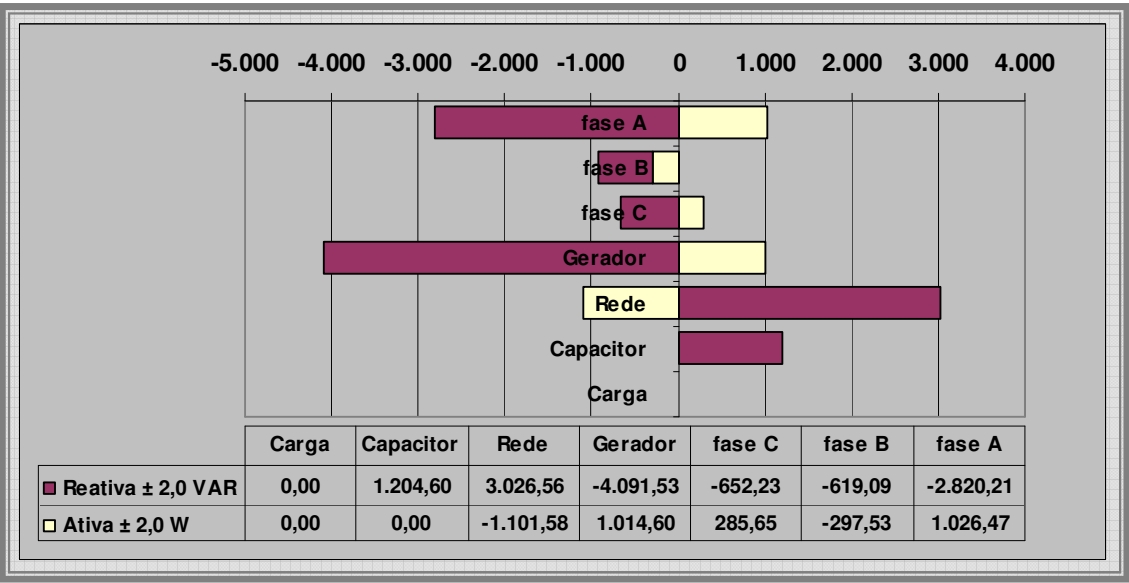


Figura 4.3 – Balanço entre as potências do gerador, rede, carga e capacitor

4.3 – Ensaios do gerador trifásico assimétrico com carga

Os dois ensaios com carga foram realizados na propriedade rural. O primeiro com lâmpadas de vapor de sódio e o segundo com as mesmas lâmpadas e uma carga resistiva de acoplamento.

4.3.1 – Gerador assimétrico alimentando lâmpadas de vapor de sódio

Três lâmpadas, de vapor metálico ou de vapor de sódio de alta pressão com reator e ignitor, de 400W cada uma, foram ligadas em delta. Os reatores são do tipo RVS/MET400W 220V AFP, da DEMAPE. O esquema da montagem dos equipamentos está ilustrado na figura 4.4.

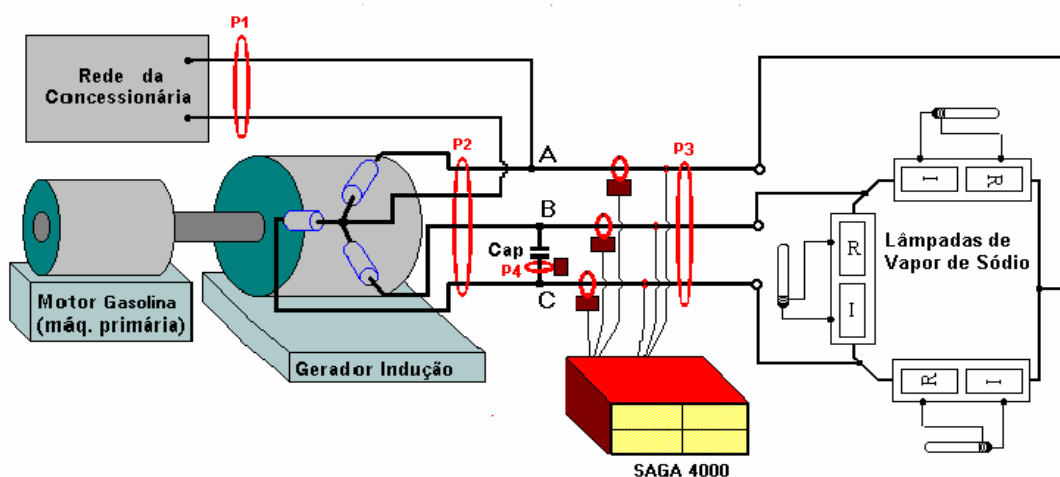


Figura 4.4 – Esquema de montagem do ensaio do gerador com as lâmpadas

Este ensaio experimental é compatível com a simulação relativa à tabela de dados 3.16; cujos dados são reapresentados na tabela 4.2, a seguir.

As fotografias relativas às montagens do gerador funcionando em vazio e do gerador com carga são apresentadas no **Anexo B**.

TABELA 4.2 – VALORES APLICADOS AO SISTEMA						
Cap (F)	b	c	Wr (rpm)	Ztri _a (Ω)	Ztri _b (Ω)	Ztri _c (Ω)
2,41E-05	0,95	1	1.806	31,88 ∠18 ⁰	31,88 ∠18 ⁰	31,88 ∠18 ⁰
R _A (Ω)	R _B (Ω)	R _C (Ω)	Za _Y (Ω)	Zb _Y (Ω)	Zc _Y (Ω)	V _{Rede} (V)
XXX	XXX	XXX	31,88 ∠18 ⁰	31,88 ∠18 ⁰	31,88 ∠18 ⁰	122 ∠0 ⁰

Os resultados das medições são apresentados nas figuras 4.5 e 4.6.

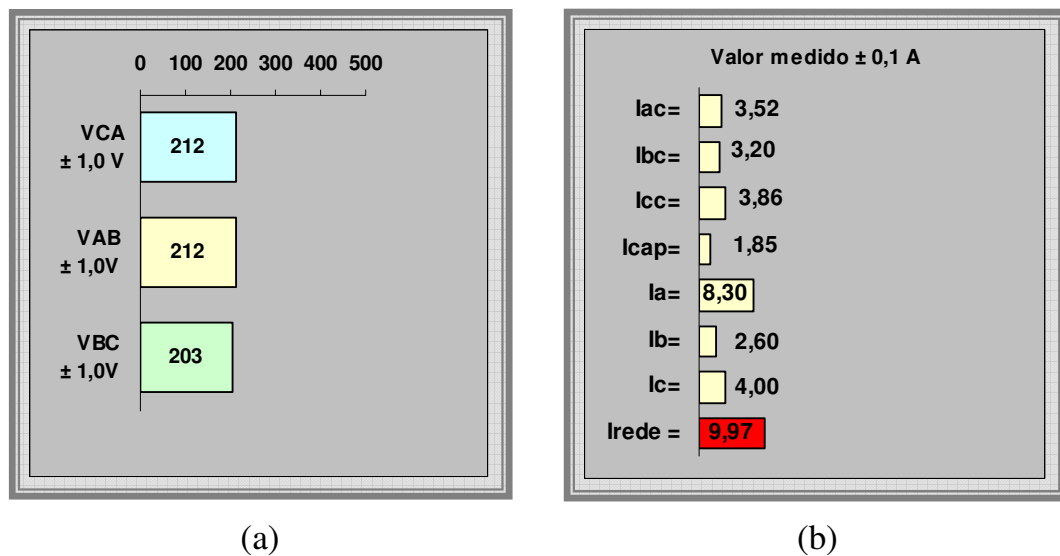


Figura 4.5 – (a) Valores das tensões nos terminais do gerador (V), (b) valores relativos às correntes na carga, no capacitor, no gerador e da rede (A).

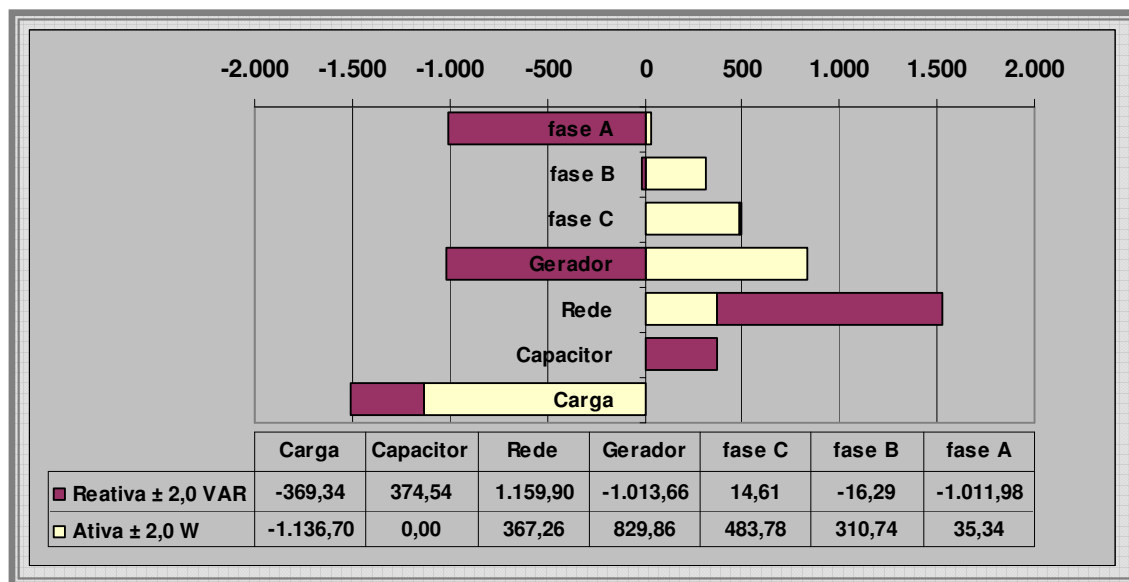


Figura 4.6 – Balanço entre as potências do gerador, rede, carga e capacitor

4.3.2 – Gerador trifásico assimétrico alimentando lâmpadas de vapor de sódio com carga de acoplamento em paralelo

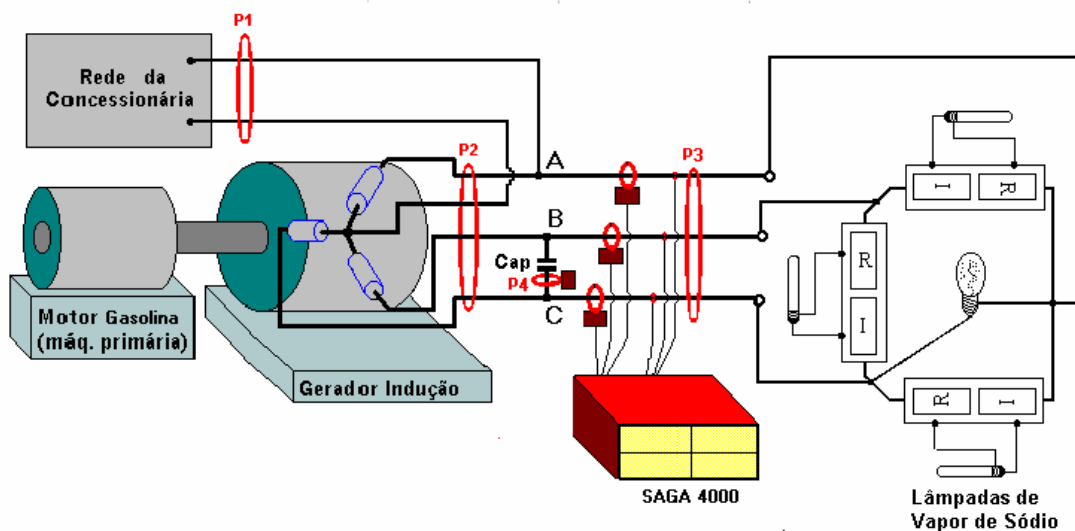


Figura 4.7 – Esquema de montagem do ensaio do gerador alimentando as lâmpadas de sódio mais a carga de acoplamento

Este ensaio experimental é compatível com a simulação relativa à tabela de dados 3.25; cujos dados se encontram retratados na tabela 4.3. A carga de acoplamento, formada por cinco lâmpadas incandescentes de 150W – 220V em paralelo, foi acoplada entre os terminais **A** e **C** do gerador.

TABELA 4.3 – VALORES APLICADOS AO SISTEMA						
Cap (F)	b	c	Wr (rpm)	Ztri _a (Ω)	Ztri _b (Ω)	Ztri _c (Ω)
2,41E-05	0,95	1	1.806	31,88∠18 ⁰	31,88∠18 ⁰	31,88∠18 ⁰
R _A (Ω)	R _B (Ω)	R _C (Ω)	Za _Y (Ω)	Zb _Y (Ω)	Zc _Y (Ω)	V _{Rede} (V)
XX	64,53	XX	16,24∠9,1 ⁰	39,83∠20 ⁰	16,24∠9,1 ⁰	122∠0 ⁰

Os resultados das medições são apresentados nas figuras 4.8.

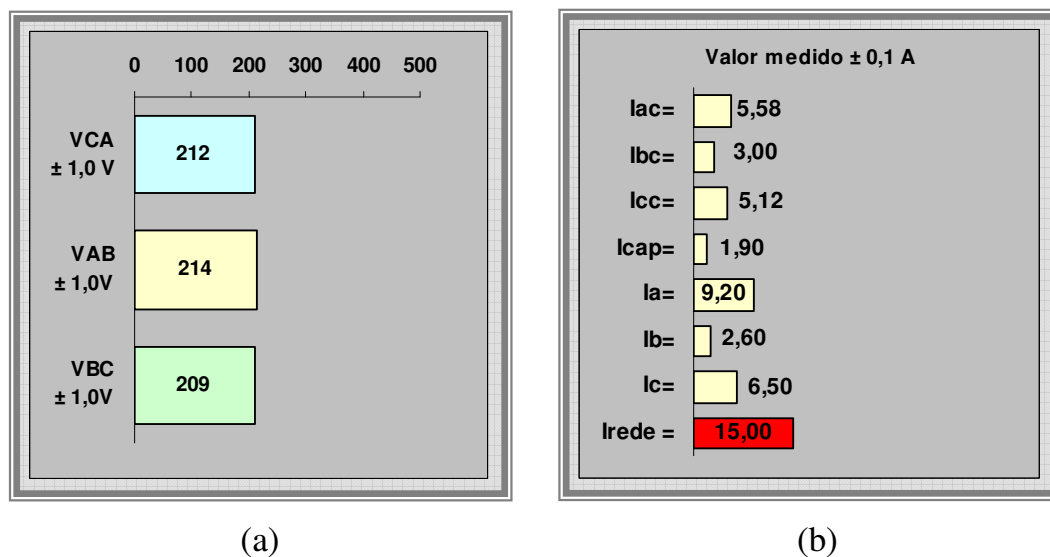


Figura 4.8 – (a) Valores das tensões nos terminais do gerador (V), (b) valores relativos às correntes na carga, no capacitor, no gerador e da rede (A).

4.4 - Considerações Finais

De acordo com os ensaios experimentais realizados neste capítulo e com as simulações computacionais realizadas no capítulo anterior, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- Para o gerador sem carga a 1803rpm fica evidenciada a proximidade entre os valores teóricos e experimentais, comparando respectivamente as figuras 3.9 e 3.10 com as figuras 4.2 e 4.3. Observa-se que o fator de desbalanceamento de tensão experimental é ainda menor que o teórico – quase zero, enquanto que os de corrente são praticamente iguais entre si. Os resultados nas figuras de balanço entre as potências, teóricos e experimentais, são comparativamente aceitáveis no sentido da validade do modelo desenvolvido; notando-se ainda que, nesta situação, o gerador fornece potência ativa para a rede ao mesmo tempo em que consome potência reativa fornecida pela rede e pelo capacitor. Neste ensaio, realizado no laboratório de máquinas elétricas da UFMT, a tensão da rede aplicada ao sistema foi de 220V considerando que se desejasse uma tensão balanceada de 380V entre as fases do gerador.
- Considerando o gerador com carga, ainda sem a carga resistiva de acoplamento, no ensaio realizado na propriedade rural, pode-se observar através da fig. 4.5 que o nível de desbalanceamento de tensão é muito pequeno, gerando correntes de carga praticamente iguais nas fases. Quando a carga de acoplamento foi ligada ao circuito anterior, da forma disposta na fig. 4.7, que é compatível com a simulação relativa à tabela 3.25, observou-se uma melhora no fator F, com tensões de fase mais próximas da nominal e correntes nos enrolamentos do gerador mais balanceadas; conforme análise das figuras 3.37 e 4.8. Pode-se ainda constatar uma elevação nos valores

das correntes das fases nas quais a carga resistiva bifásica foi acoplada; conforme esperado. Novamente, as figuras 4.6 e 3.19, de balanço de potências, apresentam resultados esperados dado o modelo de circuito equivalente utilizado na determinação dos parâmetros.

- De um modo geral variações na tensão de suprimento da rede, para uma mesma combinação de **b**, **c**, C_{ap} e W_r , produzem variações proporcionais nas tensões de linha do gerador; não produzindo variações no fator de desbalanceamento, isto é, o fator de desbalanceamento permanece constante. Por outro lado, pequenas variações na rotação do gerador podem produzir grandes variações no fator de desbalanceamento.
- Em nenhum momento, nos ensaios realizados aqui, as correntes nos enrolamentos do gerador e o conjugado produzido ultrapassaram seus respectivos valores nominais. Em todos os pontos do sistema a frequência é àquela dada pela rede monofásica.
- Um baixo fator de desbalanceamento de tensão não implica, automaticamente, em um baixo fator de desbalanceamento de corrente; visto que as correntes em questão são aquelas existentes nos enrolamentos do gerador. No enrolamento da fase A, por ser aquele através do qual o gerador é alimentado, a corrente é maior que nos outros enrolamentos. Contudo, baixos fatores de desbalanceamento de tensão produzem correntes balanceadas na carga.
- Em todos os casos estudados verificou-se grande semelhança entre os resultados obtidos pelo método experimental e o computacional, validando o modelo e programa implementado. Vale destacar que tal similaridade possui, como seria de se esperar, forte correlação com a qualidade dos parâmetros fornecidos para a modelagem. Ainda assim, a busca de modelos mais completos [22], como a inclusão dos

transitórios elétricos do rotor, pode melhorar a precisão dos resultados [21].

- Em todas as experiências não se percebeu qualquer distúrbio mecânico ou aquecimento excessivo no gerador, até porque foram poucas as mudanças ocorridas nos enrolamentos do mesmo.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES GERAIS

Ao término de cada um dos capítulos que conformam esta dissertação foram tecidos comentários conclusivos sobre os estudos ali realizados. Assim, as constatações aqui enfocadas objetivam ressaltar os resultados mais significativos e os aspectos mais abrangentes desta pesquisa.

No capítulo I procurou-se mostrar o campo de aplicação do gerador assimétrico, colocando-o como uma alternativa viável para a geração de tensões trifásicas numa propriedade rural. Considerando, por exemplo, a propriedade rural na qual foram feitos os ensaios experimentais, observa-se que a demanda disponível pela concessionária de energia elétrica é insuficiente para atender a todas as cargas, dado a fragilidade da rede rural. Pensou-se, então, em alternativas para energizar as cargas pesadas da propriedade. Recondutorar a rede de suprimento, numa distância de 22Km, passando-a de monofásica para trifásica mostrou-se economicamente inviável. Outra opção avaliada foi a da construção de uma PCH. Esta segunda possibilidade mostrou-se tecnicamente impossível pois a disponibilidade de potencial hidráulico se apresentou insuficiente para a demanda requerida. Restou, dentre as possibilidades analisadas, a instalação de um grupo-gerador movido por motor a explosão. Aqui, como gerador elétrico vislumbrou-se duas alternativas: Gerador síncrono e gerador de indução. O gerador síncrono tem como vantagem o fato de poder operar isolado, porém não garante frequência constante. O gerador de indução tem como vantagem operar com frequência constante – definida pelo sistema, porém não opera isolado. Assim, o gerador assimétrico acoplado a rede

monofásica local se mostrou uma opção viável de implementação. Ainda neste capítulo, como resultado da consulta às literaturas afins, ficou evidenciado que no tocante a máquina assimétrica existe extensa literatura com muitos trabalhos desenvolvidos na UFU, e que no tocante ao gerador assimétrico acoplado a uma rede monofásica, especificamente, muito pouco se tem a respeito.

Combinando as equações relativas à máquina assíncrona com as equações obtidas no circuito do sistema proposto, no capítulo II, pode-se levantar todas as equações de tensão, corrente, potência elétrica e potência mecânica relativas ao sistema gerador – carga trifásica – rede monofásica – capacitor – máquina primária. Estas equações foram colocadas em função do fator de desbalanceamento para se perceber tensões balanceadas à medida que ele, o fator, tendesse para zero. A carga trifásica considerada neste levantamento tem a impedância constante. Fica, então, como uma sugestão para um futuro trabalho considerar uma impedância dinâmica, como a de um motor de indução, e levantar as equações para as variáveis do sistema, bastando para isso substituir no lugar de Z_a , Z_b e Z_c (impedâncias constantes da carga) as impedâncias dinâmicas conforme modelagem utilizada na referência [2], por exemplo. Portanto, as equações levantadas neste capítulo, bem como a análise da carga de acoplamento colocada no circuito visando à busca de um menor nível de desbalanceamento, são contribuições efetivas deixadas por este trabalho.

O capítulo III teve como objetivo apresentar os procedimentos utilizados no cálculo dos parâmetros do circuito equivalente da máquina de indução, para aplicá-los às equações desenvolvidas no capítulo anterior, visando a construção do protótipo da máquina assimétrica. É destacado aqui, como mais uma das contribuições deixadas por este trabalho, um processo direto de cálculo dos parâmetros, que não apresenta nenhuma aproximação nos resultados obtidos. No que se refere à parte computacional, de acordo com as possibilidades permitidas para o programa desenvolvido no Microsoft Excel referente à modelagem no

domínio da frequência, procurou-se simular situações muito próximas às verdadeiras da propriedade rural, onde os resultados obtidos foram satisfatórios quando comparados com as medições experimentais. A relevante contribuição dada com a implementação deste programa está vinculada ao fato de o Microsoft Excel ser de fácil domínio e se fazer presente na maioria dos computadores de uso pessoal.

O capítulo IV destinou-se à apresentação e análise dos resultados oriundos das experimentações práticas. Observa-se no ensaio com carga, figura 4.6, que a potência ativa requerida pela carga é dada pelo gerador e pela rede. Numa situação ideal, isto é quando o fator de desbalanceamento fosse praticamente zero, conseguido através também do aumento da potência da máquina primária, poder-se-ia até zerar a parcela de potência da rede. A grande quantidade de lâmpadas de descarga, carga elétrica que foi acoplada ao gerador no ensaio experimental, existente na propriedade rural para iluminação interna, externa e do campo de aviação, propiciou ao conjunto a avaliação de um sistema real existente no campo. Pode-se a partir deste ponto, em trabalhos futuros, realizarem-se novos ensaios com o protótipo, visando explorá-lo em diferentes regimes de trabalho.

Portanto, esta alternativa de co-geração é uma opção para o consumidor rural atendido pelo sistema monofásico de distribuição de energia elétrica alimentar suas cargas trifásicas, bem como ver o seu consumo de energia da concessionária reduzido; uma vez que os resultados experimentais, observados neste trabalho, consolidam o modelo matemático desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Martins Neto, Luciano. “Estudo de Um Motor de Indução Trifásico Convencional Operando Como Conversor de Número de Fases, Com Objetivo de Obter Elementos Para o Projeto de Um Conversor Mono-Trifásico”. Dissertação de Mestrado, USP - 1976.
- [2] Martins Neto, Luciano. “Motor de Indução Trifásico Assimétrico Funcionando Como Conversor de Número de Fases”. Tese de Doutorado, USP - 1980.
- [3] Martins Neto, Luciano. “Motor de Indução Trifásico Assimétrico Com Alimentação Monofásica”. Projeto de Pesquisa, Relatório MIC/STI, 1988.
- [4] Martins Neto, Luciano. “Motor de Indução Trifásico Assimétrico Com Alimentação Monofásica”. I Seminário Internacional de Distribuição de Energia Elétrica – Belo Horizonte - Brasil, Outubro 1990.
- [5] Richard, Jean-Claude. “Um Estudo Comparativo Entre os Motores de Indução Trifásico Assimétrico e Monofásico”. Dissertação de Mestrado, UFU – 1993.
- [6] de Mendonça, Roberlam G. “Estudo dos Conjugados Oscilantes do Motor de Indução Trifásico Assimétrico com Alimentação Monofásica – Para Efeito de Projeto”. Dissertação de Mestrado, UFU – 1997.
- [7] Neto, L.M.; Mendonça, R.G.; Camacho, J.R.; Salerno, C.H. “The Asymmetrical Three – Phase Induction Motor Fed by Single Phase Source: Comparative Performance Analysis”. IEEE – IEMDC, International Electric Machines and Drives Conference. Milwaukee, Wisconsin, May 1997. Artigo selecionado para apresentação na conferência.

- [8] de Mendonça, R.G.; Martins Neto, L.; Teixeira, H.B.; Camacho, J.R.; “Asymmetrical Three – Phase Induction Motor Performance Through the Use of Dynamic Capacitance Switching”. ICEM 2000 – International Conference on Electrical Machines – Helsinki – Finland, August, 28 – 30, 2000.
- [9] Neto, L.M.; Salerno, C.H.; Bispo, D.; Alvarenga, B.P.; “Induction Motor Torque: An Approach Including Windings And Saturation Effects”. International Conference on Electrical Machines in Australia – ICEMA. Adelaide, University of South Australia, September 1993.
- [10] A. Tozune, Deng. “Balance Operation of Three- Phase Induction Motor With Asymmetrical Stator Windings Connected to Single- Phase Supply System”. IEE PROCEEDINGS-B, vol. 138, N°. 4, July 1991.
- [11] Chan, T.F. “Performance Analysis of a Three- Phase Induction Generator Connected to a Single Power System”. IEEE Transactions On Energy Conversion – 13: (3) 205-211 Sep 1998.
- [12] Chan, T.F. “Performance Analysis of a Three- Phase Induction Generator Self- Excited With a Single Capacitance”. IEEE - Transactions on Energy Conversion, vol. 14, N°. 4, pp. 894-900, December 1999.
- [13] de Mendonça, R.G.; Martins Neto, L.; Camacho, J.R. “Three- Phase Induction Generator Feeding a Single- Phase Electrical Distribution System – Time Domain Mathematical Model”. ICEM 2000 - International Conference on Electrical Machines – Helsinki – Finland, August, 28 – 30, 2000.
- [14] Fitzgerald, A.E., Kingsley, C.Jr. e Kusko, A. “Máquinas Elétricas- Conversão Eletromecânica de Energia, Processos, Dispositivos e Sistemas”, McGraw Hill, 1975.
- [15] Edminister, J.A. “Teoria e Aplicação dos Circuitos Elétricos”. Coleção Shaum.

- [16] Churchill, R.V. “Variáveis Complexas e Suas Aplicações”. São Paulo: McGraw- Hill/ USP, 1975.
- [17] Souza, C.L. “Contribuições à Modelagem de Cargas Agregadas Incluindo os Efeitos Dinâmicos para Aplicação em Análise de Estabilidade Transitória”. Dissertação de Mestrado, UFU – Brasil – Agosto 1997.
- [18] Warner, Nancy D. “Microsoft Excel 2000 – Rápido e Fácil Para Iniciantes”. Rio de Janeiro: Campus, 1999.
- [19] Marmel, Elaine. “Microsoft Excel 97 – Rápido e Fácil Para Iniciantes”. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- [20] “Microsoft Excel 5 for Windows passo a passo”. Catapult Inc. São Paulo: Makron Books, 1994.
- [21] de Mendonça, Roberlam G. “Uma Proposta de Co-Geração de Energia Elétrica Utilizando um Gerador de Indução Trifásico Assimétrico Conectado a uma Rede Monofásica”. Tese de Doutorado, UFU – Maio de 2003.
- [22] Souza, C. L. “Análise da Dinâmica de Sistemas de Potência Empregando Geradores de Indução em Instalações Industriais (Co-Geração)”. Tese de Doutorado, UFU – Março de 2002.
- [23] Marra, E.G., Pomilio, J.A. “Alternativas para o Emprego do Gerador de Indução em Sistemas de Geração Hidrelétricos de Pequeno Porte para o Suprimento de Localidades Isoladas”. 1998.(Apresentação de trabalho - Simpósio).
- [24] Bassett, D.E. and Potter, M.F. (1935) “Capacitive Excitation for Induction Generators”. AIEE Transactions, Vol. 54, pp. 540-543.
- [25] Wagner, C.F. (1939). “Self-excitation of Induction Motors. AIEE Transactions, Vol. 58, pp. 47-51.
- [26] Perry, Greg M. “Visual Basic 6 – Aprenda em 21 dias”. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

- [27] Chan, T.F. (1993). “Capacitance Requirements of Self-excited Induction Generators”. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 8, nº. 2, pp. 304-311.
- [28] Watanabe, E.H.; Carneiro, S.Jr.; Nascimento, J.; Rocha, L.C. (1983). “Sistema Gerador de Indução / Retificador com Controle do Fator de Potência para Aproveitamento Eólico”. Anais do I CT-COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.
- [29] Pinheiro, R.F.; Carneiro, S.Jr.; Watanabe, E.H.; Rêgo, J.L. (1988). “Controle de Gerador de Indução por Reator Controlado por Tiristores”. Anais do 7º Congresso Brasileiro de Automação, São José dos Campos - SP, pp. 505-510.
- [30] Marra, E.G., Pomilio, J.A. “Aplicação de um Gerador de Indução Trifásico Auto-excitado Fornecendo Corrente com Alto Fator de Potência para a Rede Monofásica”. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA - XII CBA, 1998, Uberlândia.
- [31] Marra, E.G., Pomilio, J.A. “Gerador de Indução Excitado por Conversor de Tensão PWM Bidirecional para Aplicações Rurais”. In: III CONFERÊNCIA DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS - III INDUSCON, 1998, São Paulo.

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DA PROPRIEDADE RURAL, DO MEDIDOR SAGA 4000, DAS MÁQUINAS PRIMÁRIAS E MEMORIAL DE CÁLCULO

A.1 – Características da propriedade rural

Localizada no município de Nossa Senhora do Livramento – MT, a Estância Cocalinho dista aproximadamente 30Km da sede do município. A região é atendida pelo sistema de eletrificação rural através de uma linha monofásica (MRT) da classe 15kV.

Na Estância está instalada uma subestação rebaixadora dotada de um transformador monofásico, classe 15kV ($\frac{13,8}{\sqrt{3}}$ KV) com potência de 5kVA e tensão secundária de 254/127 Volts. A rede primária (MRT) é composta de postes de concreto, isoladores de porcelana tipo pino e disco e cabos de alumínio nº 2 CAA (com alma de aço).

A medição da energia consumida é realizada em baixa tensão, estando o medidor instalado em abrigo metálico (padrão) afixado em poste metálico galvanizado, instalado a 15m do poste do transformador. O ramal de ligação entre o transformador e a medição é do tipo aéreo, feito através de fios sólidos, isolados, 750V, 16mm² para as fases e para o neutro. A proteção primária é realizada por chave interruptora de circuito, com elo fusível 5H. A proteção geral de baixa tensão, junto à medição, é executada por disjuntor termomagnético de 40A.

O sistema de aterramento é composto de duas malhas de terra. A primeira destinada a aterrar o pára-raios de alta tensão, o neutro do transformador e as

partes metálicas da subestação, normalmente não energizadas. A segunda malha, independentemente da primeira, destina-se a aterrar o neutro da medição, bem como as partes metálicas normalmente não energizadas do padrão de medição e o condutor geral de proteção (fio terra) das cargas.

A subestação da estância, pela sua pequena potência disponível, resultado da fragilidade do sistema de eletrificação rural da região, atende apenas as cargas leves da propriedade, tais como: residência, iluminação interna, etc. A estância conta ainda com cargas elétricas que demandam potência maior que a disponível pelo sistema da concessionária, tais como: motor elétrico trifásico de 15CV, 220V, para acionamento de máquina de beneficiamento de arroz; motor elétrico trifásico de 10CV, 220V, para acionamento de máquina trituradora de ração; iluminação externa de grande demanda, composta por lâmpadas de descarga e chuveiros elétricos que somam aproximadamente 12kW, localizados nos banheiros coletivos na área de lazer para visitantes.

A.2 – Características do medidor Saga 4000

Os medidores Saga 4000, analisadores de energia, são equipamentos portáteis multigrandeza e multifunção, que utilizam a avançada tecnologia de aquisição digital de sinais e de processamento numérico em tempo real. Foram desenvolvidos pela ESB Electronic Services, para análise, monitoração, planejamento e estudos das grandezas elétricas, visando a qualidade de energia.

As grandezas elétricas medidas são: kW, kWh, kVA, kVAh, kvarc, kvarch, kvari, kvarih, Hz, V, I, $\cos \phi$, FP, potência harmônica, sendo que as grandezas medidas e apresentadas são trifásicas e monofásicas.

Tem mostrador digital de tecnologia de cristal líquido, de 64 caracteres alfanuméricos em quatro linhas, com “back light”, permitindo indicar as informações de forma clara e precisa.

Cada analisador utiliza 03 alicates de corrente, podendo as relações ser 3000 A/1V, 1000 A/1V, 200 A/1V ou 10 A/1V. Fonte de alimentação trifásica.

Possui registrador programável com memória de massa de 1Mbyte para até 25 grandezas; gabinete de policarbonato para instalação ao tempo (IPW65); analisador de 12 e 16 bits, totalmente digital; entrada de tensão A, B, C e N e entrada de corrente tipo A, B e C e programas aplicativos em ambiente Windows. Atende às portarias da ANNEL (Portaria 163).

A.3 – Características das máquinas primárias

❖ Ficha Técnica do Motor a Gasolina VW 1600

Motor de quatro cilindros contrapostos dois a dois, quatro tempos, traseiro, refrigerado a ar; diâmetro e curso dos cilindros de 85,5 x 69,0 mm; 1584 cc; taxa de compressão de 7,2:1; potência máxima de 65 CV SAE a 4600 rpm; torque máximo de 11,7 mkg SAE a 3200 rpm, comando de válvulas central acionado por engrenagem; válvulas de admissão e escapamento nos cabeçotes; alimentado por dois carburadores de 32 mm de fluxo descendente; gasolina indicada: 73/75 octanas.

❖ Características e Dados de placa da Máquina de corrente contínua

Como máquina primária, a máquina de corrente contínua foi utilizada como um motor ligação shunt – enrolamento de campo e reostato em paralelo com a armadura, cuja alimentação CC foi provida por um retificador a diodo, 6 pulsos, conjuntamente com um varivolt trifásico.

A Máquina CC é da Equacional, nº 1892; Tipo GC1.4D5/4; V – Lig : 250 INDPT; A : 24; KW : 6; Hz : CC; Rotor ou campo : 200V; rpm : 3600; Regm. Cont 03/79.

A.4 – Memorial de cálculo

Este memorial de cálculo diz respeito à tabela de dados 3.16, mostrando os procedimentos para o cálculo das correntes no gerador assimétrico.

	Zc=	=>	30,3197	+ j	9,85E+00
	Zb=	=>	30,3197	+ j	9,85E+00
	Za=	=>	30,3197	+ j	9,85E+00
	f =	60 Hz			
	s =	(0,0033)		Ws=	1.800,00
	Cap =	2,41E-05 F			
	j Xcap =	1,10E+02	90,00 ⁰		
	Zcap=	1,10E+02	(90,00)	=>	0,0000 + j -1,10E+02
	2-s =	2,0033			
	Zsa =	2,5143	79,23	<=	0,4700 + j 2,47E+00
	Zap =	24,0695	123,63	<=	-13,3316 + j 2,00E+01
	Zan =	4,7809	83,74	<=	0,5211 + j 4,75E+00
	α =	1	120,00	=>	-0,5000 + j 8,66E-01
	α^2 =	1	-120,00	=>	-0,5000 + j -8,66E-01
	α Zap =	2,41E+01	243,63	=>	-1,07E+01 + j -2,16E+01
	α^2 Zap =	2,41E+01	3,63	=>	2,40E+01 + j 1,53E+00
	α Zan =	4,78E+00	203,74	=>	-4,38E+00 + j -1,92E+00
	α^2 Zan =	4,78E+00	-36,26	=>	3,86E+00 + j -2,83E+00
	Z ₁₁ =	2,99E+01	114,35	<=	-1,23E+01 + j 2,73E+01
	Z ₁₂ =	2,28E+01	-106,19	<=	-6,36E+00 + j -2,19E+01
	Z ₁₃ =	2,02E+01	5,88	<=	2,01E+01 + j 2,07E+00
	Zcap Z ₁₁ /3=	1,10E+03	24,35	=>	1,00E+03 + j 4,53E+02
	Zc Z ₁₃ /3b=	2,26E+02	23,88	=>	2,07E+02 + j 9,16E+01
	Zc + Zcap=	1,05E+02	-73,17	<=	3,03E+01 + j -1,00E+02
	Z ₁₂ (Zc+Zcap)/3c=	7,97E+02	-179,36	=>	-7,97E+02 + j -8,97E+00
	Z _A =	2,08E+03	15,44	<=	2,00E+03 + j 5,53E+02
	Z _B =	5,15E+03	118,46	<=	-2,46E+03 + j 4,53E+03
	Z _C =	5,76E+03	119,89	<=	-2,87E+03 + j 4,99E+03
	b Z _B =	4,89E+03	118,46	=>	-2,33E+03 + j 4,30E+03
	c Z _C =	5,76E+03	119,89	=>	-2,87E+03 + j 4,99E+03
	α Z _B b =	4,89E+03	238,46	=>	-2,56E+03 + j -4,17E+03
	α^2 b Z _B =	4,89E+03	-1,54	=>	4,89E+03 + j -1,31E+02
	α Z _C c =	5,76E+03	239,89	=>	-2,89E+03 + j -4,98E+03
	α^2 Z _C c =	5,76E+03	-0,11	=>	5,76E+03 + j -1,07E+01
	Z ₀ =	1,04E+04	108,00	<=	-3,20E+03 + j 9,85E+03
	Z ₁ =	6,07E+03	-48,70	<=	4,01E+03 + j -4,56E+03
	Z ₂ =	6,34E+03	-34,89	<=	5,20E+03 + j -3,63E+03
	λ_1 =	5,86E-01	-156,69	=>	-5,38E-01 + j -2,32E-01
	λ_2 =	6,13E-01	-142,88	=>	-4,88E-01 + j -3,70E-01
	Z ₁₃ Zc/3b=	2,26E+02	23,88	=>	2,07E+02 + j 9,16E+01
	Zb Z ₁₂ /3c=	2,43E+02	-88,19	=>	7,67E+00 + j -2,42E+02

$Z_c + Z_b =$	6,38E+01	18,00	<=	6,06E+01 + j	1,97E+01
$Z_{11}(Z_c + Z_b)/3 =$	6,36E+02	132,35	=>	-4,28E+02 + j	4,70E+02
$Z_A' =$	8,94E+02	136,00	<=	-6,43E+02 + j	6,21E+02
$Z_B' =$	3,59E+03	-132,35	<=	-2,42E+03 + j	-2,65E+03
$Z_C' =$	2,46E+03	-139,45	<=	-1,87E+03 + j	-1,60E+03
$b Z_B' =$	3,41E+03	-132,35	=>	-2,30E+03 + j	-2,52E+03
$c Z_C' =$	2,46E+03	-139,45	=>	-1,87E+03 + j	-1,60E+03
$\alpha Z_B' b =$	3,41E+03	-12,35	=>	3,33E+03 + j	-7,30E+02
$\alpha^2 b Z_B' =$	3,41E+03	-252,35	=>	-1,03E+03 + j	3,25E+03
$\alpha Z_C' c =$	2,46E+03	-19,45	=>	2,32E+03 + j	-8,18E+02
$\alpha^2 Z_C' c =$	2,46E+03	-259,45	=>	-4,50E+02 + j	2,42E+03
$Z_0' =$	5,95E+03	-143,96	<=	-4,81E+03 + j	-3,50E+03
$Z_1' =$	3,12E+03	78,16	<=	6,40E+02 + j	3,05E+03
$Z_2' =$	3,22E+03	45,84	<=	2,24E+03 + j	2,31E+03
$\lambda_1' =$	5,25E-01	222,13	=>	-3,89E-01 + j	-3,52E-01
$\lambda_2' =$	5,41E-01	189,81	=>	-5,33E-01 + j	-9,21E-02
$\lambda_1' - \lambda_1 =$	1,92E-01	-38,82	<=	1,49E-01 + j	-1,20E-01
$\lambda_2 - \lambda_2' =$	2,81E-01	-80,93	<=	4,43E-02 + j	-2,78E-01
$F =$	6,81E-01	42,11			
$\lambda_1 Z_{sa} =$	1,47E+00	-77,47	=>	3,20E-01 + j	-1,44E+00
$\lambda_2 Z_{sa} =$	1,54E+00	-63,66	=>	6,84E-01 + j	-1,38E+00
$Z_{an} - \lambda_2 Z_{sa} =$	6,13E+00	91,52	<=	-1,62E-01 + j	6,13E+00
$F (Z_{an} - \lambda_2 Z_{sa}) =$	4,18E+00	133,63	=>	-2,88E+00 + j	3,03E+00
$Z =$	2,96E+01	124,01	<=	-1,65E+01 + j	2,45E+01
$lap =$	4,13E+00	-124,01	=>	-2,31E+00 + j	-3,42E+00
$lan =$	2,81E+00	-81,90	=>	3,96E-01 + j	-2,78E+00
$laz =$	3,67E+00	-77,85	=>	7,73E-01 + j	-3,59E+00
$\lambda_2 =$	6,13E-01	-142,88	=>	-4,88E-01 + j	-3,70E-01
$1 - \lambda_2 =$	1,53E+00	13,95	<=	1,49E+00 + j	3,70E-01
$\alpha - \lambda_2 =$	1,24E+00	90,53	<=	-1,15E-02 + j	1,24E+00
$\alpha^2 - \lambda_2 =$	4,96E-01	-91,33	<=	-1,15E-02 + j	-4,96E-01
$1 - \lambda_1 + F(1 - \lambda_2) =$	2,39E+00	27,38	<=	2,12E+00 + j	1,10E+00
$\alpha^2 - \lambda_1 + F(\alpha - \lambda_2) =$	5,32E-01	-178,40	<=	-5,32E-01 + j	-1,48E-02
$\alpha - \lambda_1 + F(\alpha^2 - \lambda_2) =$	8,81E-01	72,88	<=	2,59E-01 + j	8,42E-01
$la =$	9,86E+00	-96,63	=>	-1,14E+00 + j	-9,80E+00
$lb =$	2,09E+00	-302,42	=>	1,12E+00 + j	1,76E+00
$lc =$	3,64E+00	-51,13	=>	2,28E+00 + j	-2,83E+00

ANEXO B

FOTOGRAFIAS RELATIVAS ÀS MONTAGENS NOS ENSAIOS DA MÁQUINA SIMÉTRICA E NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS, E RELATIVAS À PROPRIEDADE RURAL

❖ Fotografias relativas aos ensaios da máquina simétrica



Figura B.1 – Montagem do motor trifásico convencional para o ensaio em vazio



Figura B.2 – Montagem do motor trifásico convencional para o ensaio com o rotor bloqueado

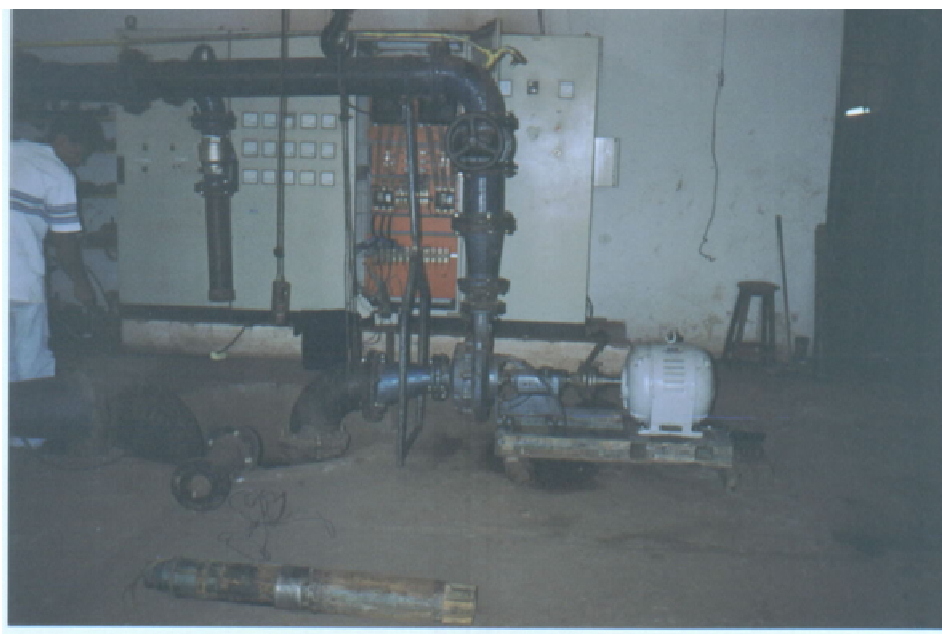


Figura B.3 – Montagem do motor trifásico convencional para o ensaio com carga



Figura B.4 – Montagem do motor trifásico convencional para a medida da velocidade mecânica do rotor, no ensaio com carga

❖ **Fotografias relativas aos ensaios experimentais**



Figura B.5 – Montagem experimental, em laboratório, do gerador assimétrico em vazio. Detalhes do medidor SAGA 4000 e do banco de capacitores



Figura B.6 – Montagem em laboratório do gerador assimétrico em vazio, tendo como máquina primária um motor CC.



Figura B.7 – Montagem na propriedade rural do gerador assimétrico com carga, tendo como máquina primária um motor a gasolina

❖ **Fotografias relativas à propriedade rural**



Figura B.8 – Sede da Estância Cocalinho



Figura B.9 – Iluminação externa e represa



Figura B.10 – Iluminação externa e hangar



Figura B.11 – Área de lazer em construção



Figura B.12 – Subestação da propriedade rural

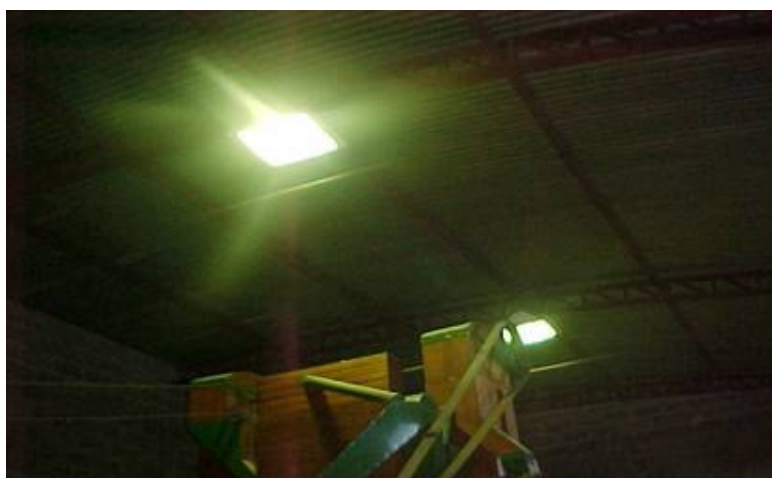


Figura B.14 – Lâmpadas utilizadas como carga no ensaio experimental