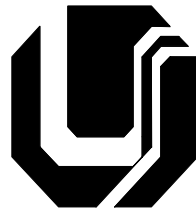


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



GERAÇÃO DISTRIBUIDA UTILIZANDO MICRO-CENTRAIS
HIDRO-ELÉTRICAS COM TECNOLOGIA ASSÍNCRONA

José Mateus Rondina

Setembro

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GERAÇÃO DISTRIBUIDA UTILIZANDO MICRO-CENTRAIS
HIDRO-ELÉTRICAS COM TECNOLOGIA ASSÍNCRONA

José Mateus Rondina

Dissertação apresentada por José Mateus Rondina à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Banca examinadora:

Luciano Martins Neto, Dr. (UFU) – Orientador

Décio Bispo, Dr. (UFU)

Enes Gonçalves Marra, Dr. (UFG)

Uberlândia, setembro de 2007.

A Deus, Criador, pela minha vida.

*Aos meus pais Walter e Maria Julia,
responsáveis maiores pela minha
carreira de engenheiro.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luciano Martins Neto pela orientação e pela confiança depositada durante todas as etapas deste trabalho.

A minha esposa Miranicy pelo apoio incondicional e incentivo fundamental para a conclusão do meu Mestrado.

Ao meu colega Prof. Fernando Nogueira de Lima, que muito me incentivou e que acompanhou de perto todo o desenvolvimento desta dissertação.

A concessionária Rede / Cemat, em especial aos Engenheiros José Nelson Quadrado e Edson Miranda, pela colaboração na realização de simulações e disponibilidade de informações técnicas do sistema de distribuição rural.

RESUMO

Rondina, J. M. Geração Distribuída Utilizando Micro-Centrais Hidro-Elétricas com Tecnologia Assíncrona, FEELT-UFU, Uberlândia, 2007, 117 páginas.

Este trabalho abordou a viabilidade técnica da utilização da Máquina de Indução nas PCHs em substituição às Máquinas Síncronas, como uma alternativa economicamente viável para a geração de energia elétrica, combinando a geração convencional com a descentralizada com enfoque na micro geração, podendo contornar uma série de problemas presentes no modelo convencional, minorando inclusive a taxa de impactos ambientais. Além disso, dependendo do nível de consumo, pode possibilitar geração de renda suplementar para pequenos proprietários, podendo ensejar grandes impactos de ordem social. O trabalho apresenta uma síntese da evolução da Geração Distribuída, acrescida de uma explanação sobre fontes alternativas de energia, impactos da geração distribuída na composição da matriz energética e perspectiva da geração distribuída. Foram enfocadas as principais vantagens e desvantagens da geração distribuída, com ênfase no modelo convencional de geração de energia elétrica por meio de Pequenas Centrais Hidrelétricas utilizando máquinas síncronas e no modelo proposto, utilizando máquina de indução. Em acréscimo, é apresentado o desenvolvimento de protótipo e respectivos resultados dos ensaios experimentais realizados em laboratório e no campo. Por fim é apresentado, por meio de simulação digital, um estudo de resposta do sistema da rede de distribuição rural da região do protótipo, utilizando os dados reais da rede local e simulando a injeção da potência obtida do protótipo.

Palavras-chaves: Geração distribuída, micro geração, máquina síncrona, máquina assíncrona, matriz energética.

ABSTRACT

Rondina, J. M. Distributed generation using Induction technology, FEELT-UFU, Uberlândia, 2007, 117 pages.

This work approaches the induction machine's technical viability on small hydropower plant instead of synchronous machines, as a viable economically alternative of generating electric energy, matching conventional and decentralized generation visualizing micro generation. This technology makes it possible to skirt a series of problems in the conventional model, as well as lowering tax of ambient impacts. According to the level of consumption, it could generate income for small proprietors, which results the possibility of great impacts on social order. This work presents a distributed generations evolution's synthesis. It also contemplates information about alternative sources of energy, distributed generation's impacts at compositing the energy matrix, as well as it's perspective. In addition to that, it focuses on the main advantages and disadvantages of the distributed generation, emphasizing the conventional electric energy generation model by means of small hydropower plant generation using synchronous and the model using induction machines which is proposed on the presented work. It also presents the development of an archetype, as well as the carried through experimental laboratory and field. At least, the work boards, through digital simulations, a study of agricultural distribution system's results of the prototype area, using the local net real data and simulating the injection of the gotten power of the prototype.

- Keywords: Distributed generation, micro generation, synchronous machine, asynchronous machine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Percentual da G D em relação à potência total gerada	25
Figura 2: Sentidos do fluxo da geração distribuída no Sistema	28
Figura 3: Perspectiva de penetração da GD até 2013	28
Figura 4: Perspectivas da incerteza da demanda de energia	31
Figura 5: Contratação média da G D a R\$ 140	32
Figura 6: Sensibilidade da G D a R\$135	33
Figura 7: Balanço oferta x demanda de energia	34
Figura 8: Ensaio do protótipo em laboratório	44
Figura 9: Laboratório de Máquinas Elétricas – UFMT.....	54
Figura 10: Laboratório de Máquinas Elétricas – UFMT.....	55
Figura 11: Protótipo Instalado na Fazenda D. Miquelina.....	55
Figura 12: Coleta de Dados no Protótipo em Condições Reais.....	56
Figura 13: Ilustração do Reservatório e Casa de Máquinas do Protótipo.....	56
Figura 14: Rede de Suprimento da Fazenda.....	57
Figura 15: Protótipo da Estância Cocalinho – Casa de Máquinas.....	57
Figura 16: Protótipo Estância Cocalinho: Máquinas Hidráulica e Gerador	58
Figura 17: Protótipo Estância Cocalinho: Coleta de dados.....	58
Figura 18: Protótipo Estância Cocalinho: Tubulação de queda	59
Figura 19: Protótipo Estância Cocalinho: Tomada d'água.....	59
Figura 20: Protótipo Estância Cocalinho: BFT	60
Figura 21: Protótipo Estância Cocalinho: Represa e tomada d'água	60
Figura 22: Diagrama Típico do Sistema Proposto.....	66
Figura 23: Foto ilustrativa do equipamento	68
Figura 24: Detalhe da caixa de coleta d'água	71
Figura 25: Bomba centrífuga para BFT	71
Figura 26: Transformador monofásico de distribuição rural	72
Figura 27: Circuito equivalente da rede de distribuição	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos consumidores de energia elétrica, segundo faixas de consumo, por grandes regiões/ Brasil (2001)	21
Tabela 2: Tabela 2 - Expansão do consumo e da capacidade instalada de energia elétrica - Brasil (1980-2000)	22
Tabela 3: Perspectiva de crescimento da GD	29
Tabela 4: Tecnologias candidatas a suprir a demanda	32
Tabela 5: Dados do protótipo em laboratório	45
Tabela 6: Dados do protótipo em laboratório, com fator potência corrigido	46
Tabela 7: Protótipo instalado no campo: Máquina de 2,2 kW	48
Tabela 8: Protótipo instalado no campo: Máquina de 4,0 kW	49
Tabela 9: Protótipo 2,2 kW, com correção do fator de potência	50
Tabela 10: Protótipo, 4,0 kW, com correção do fator de potência	50
Tabela 11: Protótipo instalado no campo: 3,0 kW	53
Tabela 12: Protótipo, 3,0 kW, com correção do fator de potência	53
Tabela 13: Dados característicos de uma turbina hidráulica	63
Tabela 14: Custo de construção de micro central 4 kW	64
Tabela 15: Rentabilidade de uma micro central de 4 kW	65
Tabela 16: Custo comparativo para micro central de 2 kW	66
Tabela 17: Custo comparativo para micro central de 5 kW	73
Tabela 18: Comparação percentual	74
Tabela 19: Simulação da linha, sem geração	77
Tabela 20: Simulação da linha no protótipo com geração na barra 3	84
Tabela 21: Simulação da linha no ATP sem geração	84
Tabela 22: Simulação da linha no ATP com geração na barra 3	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL:	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ATP:	<i>Alternative Transient Program</i>
BFT:	Bomba Funcionando como Turbina
CIGRÉ:	Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
CONAMA:	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CCEE:	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE:	Conta de Desenvolvimento Energético
CC:	Corrente Contínua
CA:	Corrente Alternada
DNAE:	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DIEESE:	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos
ELETROBRAS:	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
GD:	Geração distribuída
INEE:	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IEEE:	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ICMS:	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
I.I.:	Imposto de Importação
IPI:	Imposto sobre Produtos Industrializados
MAE:	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MRT:	Sistema Monofilar com Retorno por Terra
ONS:	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PROINFA:	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PCHs:	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PROCEL:	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PPA:	Planejamento Plurianual
PWM:	<i>Pulse-width Modulation</i>
SIN:	Sistema Interligado Nacional
TUST:	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
WADE:	<i>World Alliance for Decentralized Energy</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1	Considerações Iniciais.....	01
1.2	Justificativas e Objetivos.....	04
1.3	Revisão Bibliográfica.....	06
1.4	Estrutura da Dissertação.....	07

CAPÍTULO II – A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E AS REDES DE DISTRIBUIÇÃO

2.1	Considerações Iniciais	10
2.2	Fontes de Energia Alternativa	11
2.3	Evolução da Tecnologia	14
2.3.1	Energia Eólica	14
2.3.2	Energia Solar	16
2.3.3	Micro Turbinas	18
2.4	A Geração Distribuída no Brasil	19
2.5	A Inserção da Geração Distribuída em Redes de Distribuição.....	25
2.6	Impactos na Qualidade de Energia	29
2.7	Análise de Conjuntura	30
2.8	Tendências da Geração Distribuída	34
2.9	Regulamentação da Geração Distribuída	36
2.10	Considerações Finais.....	42

CAPÍTULO III – DESENVOLVIMENTO E ENSAIOS EXPERIMENTAIS DOS PROTÓTIPOS DO GERADOR DE INDUÇÃO

3.1	Considerações Iniciais	43
-----	------------------------------	----

3.2	Protótipo Ensaiado no Laboratório	43
3.3	Protótipos Ensaiaados no Campo	47
	3.3.1 Protótipo Instalado na Fazenda Dona Miquelina	47
	3.3.2 Protótipo Instalado na Estância Cocalinho	51
3.4	A Utilização da Micro-Geração Distribuída Rural como Fator Otimizador das Linhas de Distribuição Rurais	61
	3.4.1 Simulações Realizadas no Software da Concessionária	63
	3.4.2 Simulações Realizadas no ATP (Alternative Transient Program).	64
	3.4.3 Considerações Finais	67

CAPÍTULO IV – VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA PROPOSTA

4.1	Considerações Iniciais	68
4.2	Principais Características do Equipamento.....	70
4.3	Estimativas de Custos de Implantação.....	74
4.4	Cálculo do Retorno do Investimento.....	76
4.5	Viabilidade Técnica da Utilização de Tecnologia Assíncrona Para a Geração Distribuída e Micro Geração Distribuída.....	78
4.6	A Micro Geração Distribuída Como Forma de Geração de Renda Complementar Para o Pequeno Produtor Rural.....	80
4.7	Estudo de Custos de Implantação Comparando uso das Tecnologias Síncrona e Assíncrona na Micro-Geração Distribuída	83
	4.7.1 Custos para instalação de micro-usina de até 2,0 kW	84
	4.7.2 Custos para instalação de micro-usina de 5,0 kW	84
4.8	A Utilização da Micro-Geração Distribuída Rural como Fator Otimizador das Linhas de Distribuição Rurais	86

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES

5.1	Conclusões Gerais.....	87
5.2	Conclusão Final.....	88

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....

ANEXOS.....

Capítulo I

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 - Considerações Iniciais

O processo de implantação do sistema elétrico nacional se deu à partir de 1903, por meio de lei, aprovada pelo Congresso Nacional, a qual disciplinava o uso da energia elétrica no país. Desde então, o sistema elétrico vem se expandindo com vistas a atender as demandas do desenvolvimento econômico e social do Brasil. Para atender a esses propósitos, a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica são providas por grandes sistemas interligados, denominados de sistemas elétricos de potência, cuja capacidade de geração se baseia, fundamentalmente, na água e na força da gravidade.

Esses sistemas de potência, devem suprir as demandas de energia elétrica tanto em quantidade quanto no que se refere à qualidade no fornecimento da energia elétrica, caracterizada por frequência e tensão constantes, associado à continuidade no fornecimento, sem interrupções. Além disso, devendo atuar em uma grande faixa de carga de consumo (pontos de operação). Esses sistemas são dotados de dispositivos de proteção e controle, os quais atuam em diversos pontos do sistema. Para manter os níveis de tensão nas várias situações de operação, a amplitude da tensão é mantida dentro dos limites aceitáveis por meio da utilização de reguladores automáticos de tensão.

O sistema elétrico nacional é, portanto, na sua maioria, limpo e renovável. Outra característica marcante desse sistema é a possibilidade de transferir grandes blocos de energia de uma região do país para outra por meio do gerenciamento de forma integrada de bacias que se situam fisicamente distantes, uma das outras, de milhares de quilômetros.

É importante registrar que ao longo do século passado, os modelos de desenvolvimento sócio-econômico, implantados no mundo, pelas suas características, precisavam da concentração das populações em grandes centros urbanos, para serem viáveis. Dentre as razões que justificavam essa opção, sobressai o fato de que por meio dessa forma de distribuição demográfica, ficava mais fácil disponibilizar os meios que poderiam auxiliar o desenvolvimento, tais como indústrias, sistemas de transporte e comunicação, hospitais, escolas, universidades, etc. Se por um lado esse modelo assegurou o desenvolvimento nas áreas urbanas e regiões circunvizinhas, por outro lado, a sua consolidação contribuiu, decisivamente, para o esvaziamento humano das áreas rurais, trazendo grandes conseqüências sociais, econômicas, ambientais e até culturais.

Atualmente, os sistemas de energia elétrica têm a sua viabilidade condicionada a um fator de carga alto, tendo por conseqüência o surgimento de grandes agrupamentos industriais e comerciais, além de aglomerações residenciais em pequenos espaços territoriais, característica marcante dos atuais centros urbanos. Além disso, essa energia elétrica não tem conseguido atender plenamente às exigências do desenvolvimento das populações rurais localizadas de forma dispersa e afastadas das redes de distribuição.

Nessa conjuntura, com vistas a assegurar a fixação do homem nas áreas rurais, inibindo ou mesmo revertendo histórica tendência de êxodo para os grandes centros urbanos, na perspectiva inclusive de minorar um conjunto de problemas de natureza social, econômica e cultural presentes no cotidiano das grandes cidades; se faz necessária a adoção da

eletrificação rural descentralizada utilizando tecnologias disponíveis no mercado, que convertem energias de fontes renováveis em energia elétrica. Tais como: os painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, co-geração usando biogás, geração através de biomassa vegetal (cana de açúcar, biodiesel usando óleos vegetais, etc.), quando operando em conjunto com o motor-gerador diesel, ou outro combustível, e dispositivos com boa eficiência, proporcionam confiabilidade, qualidade e segurança no fornecimento de energia elétrica.

O interesse pela geração distribuída (GD) tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. Isso se deve à reestruturação do setor de energia elétrica e à necessidade de aproveitamento de diferentes fontes primárias de energia, bem como ao fato de estar associado aos avanços tecnológicos, à disponibilidade de incentivos governamentais e, também, devido à crescente conscientização sobre a conservação ambiental. Esse conceito de operação está se consolidando como uma tendência nos sistemas elétricos e, como tal, deve receber grande atenção dos pesquisadores e da indústria [1]-[3].

Nessa perspectiva, a fonte hidráulica tem sido muito explorada nas propriedades rurais, para a qual o mercado nacional de equipamentos dispõe de unidades que contemplam de 1 kW a 30 MW, sendo assim classificadas, tecnicamente, de micro a pequenos aproveitamentos hidroenergéticos.

Embora a maioria das máquinas de indução em operação como gerador seja empregada em parques eólicos [4], tais máquinas também têm sido usadas em usinas termoelétricas e hidroelétricas de pequeno e médio porte [5]-[7]. É nesse contexto que a utilização da *Máquina de Indução* nas PCHs, em substituição à *Máquina Síncrona* representa uma alternativa economicamente viável para a geração de energia elétrica, combinando a geração convencional com a descentralizada, possibilitando contornar uma série de problemas presentes no modelo convencional, possibilitando, além

disso, dependendo do nível de consumo, geração de renda suplementar para pequenos proprietários, podendo ensejar grandes impactos de ordem social.

1.2 – Justificativas e objetivos

Para a escolha do tema do presente trabalho, foram definidos critérios que permitissem o atendimento a premissas estabelecidas, de ordem técnica, econômica e social, e que o resultado da mesma pudesse ter aplicabilidade imediata, dada a sua influência na matriz de geração de energia elétrica a nível regional e nacional. A seguir, é feita breve descrição destas premissas.

- **Quanto à área do tema:** A área de Máquinas Elétricas Especiais, além de ser atual, é uma linha de pesquisa consolidada da Universidade Federal de Uberlândia.
- **Quanto à escolha da estrutura do sistema gerador:** A escolha da estrutura foi direcionada para aqueles consumidores que, em função das características do país/região, são atendidos por linhas monofásicas, tais como os consumidores de regiões rurais ou de áreas afastadas com baixa densidade de cargas, notadamente encontrados na região centro-norte do Brasil.

A rede monofásica, normalmente, pela sua pequena potência disponível devido à fragilidade do próprio sistema de eletrificação rural, atende apenas às cargas leves de uma propriedade rural, tais como os aparelhos eletrodomésticos, iluminação interna e motores de baixa potência.

Nessa perspectiva, a estrutura escolhida para o presente estudo consiste de um *Gerador de Indução ligado diretamente à rede monofásica*, tendo como máquina primária uma turbina ou uma

bomba d'água. Esta modalidade de geração é adequada para o aproveitamento de pequenos potenciais hidráulicos com operação a “fio d'água”.

Dentre as vantagens da estrutura escolhida, ressalta-se que, por se tratar de uma máquina assíncrona, não há necessidade de cuidados quanto ao sincronismo entre máquina e rede, nem quanto a ajustes de tensão gerada ou fluxo reativo. Além disso, no caso de desligamentos do sistema, não ocorre realimentações com risco para a rede, tendo em vista que a máquina de indução necessita de reativo para gerar. Em acréscimo, não é preciso investir em regulação de tensão ou de velocidade, isso porque uma vez ajustada a velocidade de operação, a quantidade de energia será constante.

Portanto, este trabalho tem o objetivo de propor a utilização do gerador de indução, como uma alternativa de baixo custo em relação aos geradores síncronos empregados em sistemas de geração de baixa potência (abaixo de 50 kW). O sistema é adequado para ser empregado em propriedades rurais que disponham de fonte hídrica de energia e sejam alimentadas por linha monofásica. A potência nominal da linha monofásica deve permitir que toda a potência gerada possa ser absorvida pela rede, caso seja necessário; caracterizando um sistema de co-geração de energia elétrica.

Para tanto, o trabalho tem como metas: construção de protótipos com vistas a comprovar a viabilidade técnica e econômica da proposta. O estudo contempla, para além das medições em campo, simulações computacionais no ambiente ATP (*Alternative Transient Program*) e utilizando software dedicado da Concessionária Rede CEMAT, a qual possui banco de dados de toda a rede e cargas existentes.

Os ensaios experimentais foram realizados no laboratório de máquinas elétricas da Universidade Federal de Mato Grosso, assim como na fazenda “Dona Miquelina”, localizada na Serra de São Vicente, no município de Santo Antonio do Leverger, MT e na “Estância Cocalinho” situada no município de Livramento, MT.

1.3 – Revisão Bibliográfica

O levantamento bibliográfico realizado para o desenvolvimento deste estudo teve como referência a identificação: de definições e conceitos existentes sobre geração distribuída (GD), dos aspectos relacionados com a evolução da tecnologia, penetração dessa modalidade de geração no cenário mundial e nacional, assim como dos aspectos que dizem respeito às vantagens e preocupações devido ao crescimento da GD, como tendência inevitável na conjuntura atual do setor energético. A revisão bibliográfica se detém, particularmente, ao aproveitamento de pequenos potenciais hidráulicos, utilizando como máquina primária turbina e bombas.

No tocante a conceituação e definições da geração distribuída (GD), vários aspectos, tais como: a reestruturação do setor elétrico, o aproveitamento de diferentes fontes alternativas de energia, a minimização dos impactos ambientais e os incentivos governamentais disponíveis são responsáveis pelo crescente interesse na geração distribuída (GD). Assim, esse esse conceito de operação tem se consolidado como uma tendência nos sistemas elétricos [1]-[3]. Salienta-se que não existe uma única definição de geração distribuída, elas diferem entre si, fundamentalmente no estabelecimento de potencia gerada [8]-[10]. Uma breve abordagem sobre a evolução da tecnologia é apresentada em [11].

A expansão do consumo e da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil, pelas razões já mencionadas, aponta para a necessidade de adoção de fontes alternativas de energia. Nesse sentido, merece destaque os incentivos governamentais levados a efeito por meio dos programas: PROINFA, LUZ NO CAMPO e LUZ PARA TODOS. As questões referentes à perspectiva da inserção e do crescimento da GD no setor elétrico são tratadas em [17]-[19].

Os aspectos construtivos e modelagem matemática das máquinas geradoras foram obtidos da literatura clássica. Exemplos da utilização da máquina assíncrona como gerador introduzindo aspectos de simplicidade técnica operacional e de segurança exploradas no trabalho como fator viabilizador da micro geração distribuída são apresentadas em [4]-[7].

Na análise das vantagens e desvantagens [12]-[16], [20]-[26] e [27], [28], a inserção da geração distribuída (GD) em redes de distribuição, é favorável ao consumidor garantindo o seu próprio suprimento a custos menores, além de possibilitar geração de renda extra, caso haja excedente. Em relação ao sistema destaca-se como vantagem a redução de perdas ôhmicas e a consequente recuperação da degradação da tensão. Dentre as atuais preocupações estão as de natureza regulatória e comercial.

Desta forma, fica evidente a importância deste trabalho no tocante à geração distribuída com tecnologia assíncrona.

1.4 – Estrutura da dissertação

Além deste capítulo introdutório, este trabalho envolve mais quatro capítulos, estruturados da seguinte forma:

CAPÍTULO 2 – A Geração distribuída e as Redes de Distribuição:

Este capítulo apresenta, inicialmente uma explanação sobre diversas formas de energia alternativa, abordando a evolução da tecnologia e um breve histórico sobre a geração no Brasil. Em seguida, trata da inserção da geração distribuída (GD) em redes de distribuição em diversos países, elencando os principais problemas e vantagens decorrentes da inserção desse tipo de geração em redes de distribuição. Na seqüência, destaca a preocupação existente, no tocante aos aspectos de estabilidade do sistema e da qualidade de energia do suprimento, devido à crescente ampliação de fontes de geração de pequeno porte. Em acréscimo, analisa a penetração da geração distribuída (GD), com base na perspectiva de crescimento para os próximos anos, contemplando uma análise de conjuntura que envolve oferta e demanda de energia, além de custos associados às gerações Hidricas, Térmicas e à Geração distribuída, finalizando com as tendências e legislação da geração distribuída (GD), ressaltando medidas que devem ser adotadas pelo Governo para eliminar barreiras para o desenvolvimento da energia distribuída, estimulando, assim, sua rápida implantação.

CAPÍTULO 3 – Desenvolvimento e Ensaio Experimentais dos Protótipos da Micro Central Hidroelétrica com Tecnologia Assíncrona

Neste capítulo, é apresentado os protótipos desenvolvidos, assim como os resultados dos ensaios experimentais realizados em laboratório e no campo em instalações reais. O primeiro protótipo apresentado foi desenvolvido no laboratório, com o objetivo de definir instrumentos, escalas, rotações e outras variáveis. Os dois outros protótipos foram montados em locais diferentes, para obtenção de dados reais no campo. Esta etapa do trabalho aborda, também, as características construtivas dos protótipos e especificidades do potencial hidráulico disponível, bem como formas de conexão da máquina à rede da Concessionária, além de

informações sobre a rede rural utilizada. Este capítulo, apresenta, também, um estudo comparativo de custos de implantação entre as tecnologias síncrona e assíncrona, na micro-geração distribuída, assim como as vantagens da utilização da Micro geração distribuída Rural, como fator otimizador das linhas de distribuição rurais. Para tanto, é apresentado os resultados de simulações computacionais utilizando software dedicado da Rede CEMAT, assim como no ambiente ATP (Alternative Transient Program).

CAPÍTULO 4 – Análise Técnica e de Custos da Proposta:

Neste capítulo está apresentado uma análise técnica e de custos da proposta objeto deste estudo, levando em conta tanto os custos de implantação quanto o tempo de retorno do investimento, para a geração de energia a partir de distintos níveis de vazões e queda. O estudo reafirma as vantagens da utilização de tecnologia assíncrona comparativamente à tecnologia convencional existente no mercado, composta de turbinas hidráulicas impulsionando geradores síncronos auto-excitados, possibilitando, inclusive, complementação de renda para o pequeno agricultor, sempre que a geração for superior ao consumo da propriedade rural.

CAPÍTULO 5 – Conclusões gerais:

Neste capítulo são consolidadas as principais discussões e conclusões finais dos capítulos precedentes, apontando os aspectos mais relevantes encontrados na realização do trabalho, associadas às contribuições efetivas do trabalho desenvolvido.

Capítulo II

A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E AS REDES DE DISTRIBUIÇÃO

2.1 - Considerações Iniciais

A Geração distribuída é a geração de energia (elétrica e/ou térmica), de forma descentralizada, no próprio local do uso da mesma (ou o mais próximo), economizando os custos de transmissão e distribuição, proporcionando uma solução energética e economicamente otimizada, para cada caso. A rigor, não há uma visão única da definição da Geração distribuída (GD) [8]. A referência [9] faz uma coletânea de conceitos na visão de diversas instituições. Para o CIGRÉ, a Geração distribuída (GD) engloba unidades de geração com capacidade máxima de 50 a 100 MW, usualmente conectadas à rede de distribuição e que não são centralmente despachadas nem planejadas. Para o IEEE, trata-se de uma geração com instalações suficientemente pequenas em relação às grandes centrais de geração, permitindo sua conexão em um ponto próximo à rede elétrica, junto a centros de carga. O Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE [10] entende essa geração como sendo a geração elétrica produzida próxima ao local onde ela é consumida, voltada para o auto consumo industrial ou predial ou para suprir necessidades locais de distribuição de energia, ou ainda, como reserva descentralizada para suprir demanda de ponta ou cobrir interrupções no fornecimento da rede.

2.2 - Fontes de Energia Alternativa

O cenário da geração de energia elétrica, para os próximos anos, deverá se caracterizar por um uso diversificado das fontes de energia, apontando para uma participação mais significativa das fontes de energia alternativa na geração de eletricidade para a sociedade moderna; com impactos sociais e econômicos, no meio rural e no meio urbano. É o conceito de geração distribuída, começando a ser difundido na engenharia de sistemas energéticos.

A energia, tradicionalmente convertida através das quedas d'água nos rios (usinas hidrelétricas) e da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) em usinas termelétricas, tem sua origem na radiação solar, fonte primária, incidente sobre a Terra, provocando evaporação, origem do ciclo das águas e favorecendo reações químicas sobre a matéria orgânica. O Sol, ao aquecer o planeta, possibilita, também, a captação de energia em outras formas, tais como: energia eólica, energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica.

A energia eólica provém de diferentes níveis de radiação solar. O aquecimento de regiões distintas do planeta provoca deslocamentos de camadas de ar que são os ventos. A energia cinética contida nestas massas de ar (energia eólica) pode ser captada por uma turbina e logo convertida em energia mecânica rotacional e, posteriormente, em eletricidade nos terminais de um gerador elétrico.

Como uma das principais fontes alternativas de energia, a energia eólica tem se destacado pelo reduzido impacto sobre o meio ambiente e comunidades vizinhas. Isso se deve à sua base tecnológica industrial, à experiência e confiabilidade adquiridas nestes últimos 20 anos de operação de grandes sistemas de geração eólica no mundo, e ao imenso potencial

energético, estimado para o Brasil em cerca de 30 GW, em potência aproveitável.

A energia solar, por sua vez, pode ser captada na forma de calor por coletores solares, que a armazenam pelo aquecimento de fluídos (líquidos ou gasosos). A energia solar fotovoltaica, fruto da conversão direta em eletricidade tem apresentado o impulso mais notável nos últimos anos. O surgimento de uma diferença de potencial elétrico nas faces opostas de uma junção semicondutora quando da absorção da luz, efeito fotovoltaico, constitui o princípio básico de funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Os sistemas de geração de energia fotovoltaica têm recebido grande atenção por parte da comunidade técnica internacional e, por isso tem sido apontados como uma das grandes oportunidades no setor energético nesta virada de século. Este cenário aponta na direção de um grande esforço tecnológico e político, no sentido de reduzir custos, aumentar a eficiência e confiabilidade e promover a geração da energia elétrica através de painéis fotovoltaicos.

Entre as aplicações típicas para sistemas de geração de energia alternativa, o bombeamento de água para uso humano, animal ou para irrigação se destaca destas soluções pelo seu apelo ambiental e social.

O uso de geração diesel, para acionar bombas, apesar de simples e inicialmente de baixo custo, demanda constante manutenção e suprimento de combustível, além de constituir uma solução geradora de poluição sonora e do ar.

Os sistemas eólicos de bombeamento de água, disponíveis no mercado na faixa entre 1 e 10kW, principalmente aqueles que possuem uma conversão intermediária em forma de eletricidade, são os sistemas de menor custo entre as aplicações de energia eólica. Isto se deve à ausência de baterias e conversores estáticos, à baixíssima manutenção, ao uso de

moto bombas convencionais e a possibilidade de separação na alocação da bomba e do rotor eólico de até 1 km.

O uso de sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água, além de se constituir em uma fonte limpa e sem ruído, possui uma característica única na relação natural entre a disponibilidade de energia solar e a demanda de água. Estes sistemas geralmente não demandam baterias de acumuladores e a energia gerada nos painéis em corrente contínua é convertida através de um inversor estático para corrente alterada que alimenta a bomba.

Comparados aos sistemas de energia eólica, os sistemas fotovoltaicos apresentam como vantagens a versatilidade em termos da definição do local de instalação (inclusive em áreas urbanas), e menor necessidade de manutenção (mínimo de partes móveis). A principal vantagem dos sistemas eólicos é o baixo preço da energia gerada (US\$ 0,03/kWh contra US\$ 0,20/kWh para os sistemas fotovoltaicos). No entanto, esta diferença no custo da energia gerada por estes sistemas deve diminuir. Painéis fotovoltaicos são essencialmente componentes eletrônicos e seu custo deve seguir a tendência geral do setor: redução de custos com o aumento da produção e o aperfeiçoamento da tecnologia de produção.

Os sistemas de bombeamento de água, baseados em fontes alternativas de energia, se mostram competitivos em locais onde os insumos energéticos são abundantes (ventos e radiação solar) e as fontes tradicionais de eletricidade inexistem ou são economicamente não atrativas. O crescente aumento da eficiência e redução dos custos destes sistemas são frutos de um avanço tecnológico real, subjugando a tecnologia a serviço do homem e em integração com o meio ambiente.

2.3 - Evolução da Tecnologia

2.3.1 - Energia Eólica

O desenvolvimento apresentado nestas últimas 2 (duas) décadas pela tecnologia de sistemas de conversão de energia eólica é comparável à taxa de evolução dos campos tecnológicos mais agressivos. Os sistemas eólicos estabeleceram-se nos Estados Unidos e Europa, através de uma indústria sólida e evoluíram no projeto, construção e operação. Esta evolução resultou em uma substancial redução de custos que, segundo a Associação Americana de Energia Eólica, permite que as concessionárias de energia elétrica americanas ofereçam atualmente a seus consumidores a opção de compra de eletricidade gerada por usinas eólicas ao preço especial de 2 a 2,5 centavos de dólares, por kWh. A este preço, um consumidor residencial típico, que consumisse em média 25% de sua eletricidade de origem eólica, pagaria cerca de 4 a 5 dólares por esta energia ao mês. Vale ressaltar que a energia eólica representa, hoje, o menor custo, entre todas as formas de geração de eletricidade e que seus custos encontram-se ainda em declínio.

A energia eólica, como energia cinética contida nas massas de ar, é proporcional ao quadrado da velocidade de vento. Logo a potência eólica disponível em uma determinada área disponível em uma determinada área varrida por turbina é proporcional ao cubo da velocidade de vento incidente. Assim pequenas diferenças em valores de velocidade de vento de um local para outro representam grandes diferenças na produção e custo da energia gerada.

Uma turbina eólica é formada essencialmente por um conjunto de pás (2 ou 3 pás em turbinas modernas), que sob a ação do vento são sujeitas às forças aerodinâmicas que as impulsionam em movimento rotativo. Duas componentes de forças caracterizam o funcionamento de uma turbina

eólica: a força de arrasto, que ocorre na direção do vento, e a força de sustentação, perpendicular à ação do vento.

Existem diversas concepções de turbinas eólicas, mas as turbinas de última geração são turbinas de eixo horizontal, de baixo número de pás com perfis aerodinâmicos eficientes, impulsionadas por forças predominantemente de sustentação, acionando geradores elétricos que operam a velocidade variável. A operação em velocidade variável, única forma de garantir alta eficiência da conversão para ampla faixa de variação da velocidade de vento, agrega um aspecto inovador ao processo de geração de eletricidade que é a geração em frequência variável.

A operação dos sistemas de energia eólica é muito dependente da aplicação pretendida para a energia elétrica gerada. Como não se possui intrinsecamente um meio de armazenar a energia cinética dos ventos; os sistemas eólicos agregam formas de estocagem da energia na sua forma de eletricidade, utilizando baterias de acumuladores (em sistemas de pequeno e médio porte) ou interligando-se com o sistema de energia elétrica convencional, em sistemas de grande porte.

As grandes turbinas eólicas, com potências unitárias entre 100 kW e 1MW, são instaladas em grande número, conectadas à rede elétrica, constituindo o que se chama de "centrais eólicas" que totalizam uma potência instalada entre 1 e 100 MW. Diversos sistemas deste porte encontram-se instalados no Brasil, destacando-se as usinas do Camelinho (1MW, em MG), do Mucuris (1,2MW, no Ceará) e da Prainha (10MW, no Ceará). Pequenas turbinas eólicas, com potências unitárias entre 0,25 e 20 kW, são instaladas em aplicações isoladas da rede elétrica, compondo sistemas híbridos (com geradores diesel ou painéis fotovoltaicos) ou sistemas para aplicações específicas (eletricidade para residências e comunidades rurais, estações de telecomunicação, bombeamento de água, entre outras).

2.3.2 - Energia Solar

Sistemas de geração de energia fotovoltaica têm sido propostos e utilizados em 2 (duas) formas possíveis: como sistemas de co-geração e em sistemas isolados. Em localidades remotas, que não contam com o fornecimento de energia elétrica através do sistema convencional ou em locais de difícil acesso à rede de energia, sistemas fotovoltaicos isolados podem ser utilizados. Nesta situação, a energia gerada pelos painéis deve ser parcialmente armazenada em bancos de baterias. A idéia aqui é que o excesso de energia elétrica gerada durante períodos de elevada irradiação solar ou de baixo consumo seja armazenada para utilização em períodos de baixa irradiação e durante a noite. Sistemas fotovoltaicos deste tipo podem ser utilizados como fonte principal de energia para consumo residencial e outras atividades, como por exemplo, o bombeamento de água da fonte para um reservatório elevado num sistema de irrigação.

Uma outra situação possível envolve a utilização de um sistema de geração fotovoltaico como uma fonte local de eletricidade conectada em paralelo com a rede elétrica, num esquema de co-geração. No esquema de co-geração, o consumidor utiliza primariamente a energia gerada localmente pelos painéis fotovoltaicos. Qualquer diferença entre o consumo e a geração local é fornecida ou consumida pela rede de energia, dispensando o uso de baterias. O sistema de co-geração fotovoltaica apresenta vantagens específicas tanto para o consumidor como para o próprio sistema de energia elétrica, além dos ganhos ambientais associados à fonte de energia renovável. Do ponto de vista do consumidor, a vantagem é a redução direta do custo da conta de energia elétrica. Do ponto de vista do sistema de energia, as vantagens são: a liberação de capacidade de geração e transmissão de energia, o nivelamento da curva de carga, a redução de custos e a descentralização da geração, entre outros.

Os sistemas de co-geração fotovoltaica vêm recebendo grande atenção em vários países. Projetos como Niewland (complexo residencial de 5000 casas, 1 MW de capacidade de geração fotovoltaica), na Holanda, bem como outros projetos igualmente expressivos nos Estados Unidos, Japão e Alemanha, são indicativos da determinação destes países em promover a utilização da energia fotovoltaica em centros urbanos. Cabe registrar que nestes países a geração de energia elétrica é essencialmente realizada a partir de usinas termelétricas a carvão, o que aumenta o interesse na energia solar sob o ponto de vista ambiental.

Painéis fotovoltaicos são disponíveis hoje em várias apresentações além da forma plana clássica. Esta diversidade de apresentações possibilita a integração dos painéis fotovoltaicos às edificações com um mínimo de impacto arquitetônico. Eles podem ser adquiridos na forma de telhas, laminados flexíveis, placas semitransparentes (que associam a geração de energia elétrica ao conforto ambiental em edifícios comerciais) e outros. É importante destacar que a utilização de sistemas de co-geração em edifícios comerciais parece particularmente vantajosa, considerando que as atividades nestes edifícios concentram-se no mesmo período de disponibilidade da energia solar, além da redução no consumo de energia, em termos absolutos. Edifícios comerciais apresentam também grandes áreas laterais e de teto, que podem ser aproveitadas para a instalação de painéis fotovoltaicos. Além dos painéis, a tecnologia de geração fotovoltaica inclui o emprego de inversores estáticos de frequência (conversores CC-CA) que controlam o fluxo de energia entre os painéis e a carga ou a rede de energia. Estes conversores são controlados de forma a extrair dos painéis fotovoltaicos, a máxima potência elétrica associada ao nível de irradiação solar e temperatura. Outra função associada aos inversores é minimizar o impacto da geração descentralizada sobre o sistema de energia elétrica. Este impacto inclui a minimização de

distorções harmônicas nas formas de onda de tensão e de corrente no ponto de acoplamento com a rede de energia, em sistemas de co-geração, ou com a carga, em sistemas isolados, e ainda evitar a formação de "ilhas". Aspectos relacionados à operação de sistemas de energia elétrica impõem a necessidade de desligamento dos sistemas de co-geração caso haja interrupção no fornecimento de energia elétrica naquela área. Sob determinadas condições, é possível que o sistema de co-geração não consiga detectar este desligamento e continue em operação. Esta situação é definida como "ilhamento" e deve ser evitada através de metodologias adequadas de controle do conversor de frequência.

2.3.3 – Micro Turbinas

Dentre as diversas tecnologias existentes de geração distribuída (GD), a micro turbina foi uma das que alcançou maiores avanços e maior utilização, sobretudo em relação às células combustíveis. As micro turbinas evoluíram das aplicações da turbina nas indústrias aeroespacial e automotiva para as aplicações em sistemas elétricos de potência, apresentando diversas inovações tecnológicas, dentre elas o uso de mancais a ar, de ligas metálicas e cerâmicas resistentes a altas temperaturas e de componentes eletrônicos de alta potência. Estão disponíveis no mercado em potências de 30 kW até 250 kW. Dentre os principais benefícios destacam-se: baixas emissões atmosféricas em virtude da combustão contínua; baixos níveis de ruído e de vibração; flexibilidade de combustível, podendo ser utilizado gás natural, diesel, propano e biogás; dimensões reduzidas; modularidade (as conexões da micro-turbina com a rede/carga são feitas de modo "plug-and-play"); baixo custo e pequena necessidade de manutenção; alta eficiência quando utilizada em co-

geração, podendo alcançar mais de 80%, mesmo tendo uma eficiência elétrica da ordem de 30% [11].

2.4 - A Geração distribuída no Brasil:

A geração elétrica próxima ao centro consumidor foi muito utilizada, no Brasil, no final do século XIX, bem como na primeira metade do século XX, época na qual a energia industrial era quase que integralmente gerada localmente. As empresas de pequeno porte geradoras, transmissoras e distribuidoras de energia elétrica eram de capital privado nacional e de propriedades de municípios e governos estaduais. Mais tarde, na década de 40, devido ao desenvolvimento econômico experimentado pelo país e evidenciado pela 2ª guerra mundial, impôs uma mudança na indústria de energia elétrica no Brasil. Em face disso, deu-se início à implantação de grandes centrais geradoras com o apoio do governo que optou pela criação de empresas estatais concessionárias, oferecendo crédito para a construção de grandes centrais hidrelétricas com vistas ao aproveitamento do potencial representado pelos rios brasileiros.

A retomada do interesse pela geração distribuída se deu a partir da década de 1990, em virtude de profundas transformações nos setores energéticos de diferentes países, apontando, dentre outros aspectos, para o estímulo à descentralização da geração de energia, ensejando a viabilidade técnica de novas tecnologias de geração de energia. Nesse contexto, a escassez de recursos para grandes projetos, os impactos ambientais, a disponibilidade de gás natural, dentre outros fatores, levaram a que na Europa e nos Estados Unidos o tema geração distribuída fosse discutido. O Brasil, por sua vez, seguiu a tendência mundial reestruturando o setor elétrico e as principais instituições envolvidas com a geração, transmissão e distribuição, bem como a comercialização e regulação do setor elétrico.

Até o ano 2000, o país apresentava um índice de eletrificação rural de, aproximadamente, apenas 30%. Dentre as justificativas para essa realidade estava o desinteresse das concessionárias sob alegação de que devido à alta dispersão populacional, às longas distâncias entre o ponto de origem da rede de distribuição e o ponto final de consumo, o custo de investimento elevado, acrescidos de outros fatores, tais como: número de consumidores por quilômetro, carga instalada por quilômetro, custo por quilômetro de rede, taxas de crescimento da demanda, retorno do investimento, tornavam o investimento inviável. Todavia, a crise de abastecimento de energia em 2001, associada ao crescimento das atividades econômicas em áreas não servidas por linhas de transmissão, à abertura de mercado, à possibilidade de autoprodutores comercializarem seus excedentes, além da busca por energéticos mais eficientes e da diversificação da matriz energética brasileira são fatores que, certamente contribuirão para o crescimento da Geração distribuída no Brasil.

O crescimento da demanda brasileira de energia elétrica exigirá a instalação de pelo menos 15 mil MW até 2010. Embora se conte com grande potencial hídrico e considerável oferta de carvão e gás natural, a utilização destas fontes tradicionais enfrenta entraves ambientais e incertezas de várias naturezas, inclusive quanto aos preços do gás. Este cenário motiva preocupação quanto ao atendimento da demanda ao médio prazo, apontando para a necessidade de identificação de soluções alternativas, passíveis de serem criadas tempestivamente e a preços competitivos com as demais fontes, contribuindo para que sejam asseguradas as necessidades do desenvolvimento, tanto das regiões urbanas quanto das regiões rurais.

A extensão territorial brasileira e os níveis elevados de irradiação solar durante todo o ano e em praticamente todo o território nacional, estão entre os principais fatores que justificariam uma política de apoio à co-

geração fotovoltaica. No que tange a sistemas de geração eólica, o potencial energético estimado para o país é de 30 GW. No que se refere a biomassa o setor canavieiro se apresenta com efetivas potencialidades já que processa grandes quantidades de energia sob a forma de biomassas combustíveis que podem ser transformados em eletricidade.

No Brasil 41 % da matriz energética é renovável, enquanto a média mundial é de 14 % e nos países desenvolvidos, de apenas 6%, segundo dados do Balanço Energético Nacional – edição 2003. Assim, a entrada de novas fontes renováveis evitará a emissão de 2,5 milhões de toneladas de gás carbônico/ano, ampliando as possibilidades de negócios de Certificação de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do Protocolo de Kyoto.

Na tabela 1, é apresentada a distribuição de Energia Elétrica segundo faixas de consumo, por grandes regiões referentes ao ano de 2001.

Tabela 1 - Distribuição dos Consumidores de Energia Elétrica, segundo Faixas de Consumo, por Grandes Regiões/ Brasil – 2001.

Faixa residencial	Consumidores Sul/Centro Oeste	Consumidores Nordeste
Até 100 kWh	29,7%	63,1%
Entre 100 e 200 kWh	35,3%	24,8%
Entre 200 e 500 kWh	30,8%	10,0%
Acima de 500 kWh	4,2%	2,1%

Fonte: Ministério das Minas e Energia. *Apud*: Folha de São Paulo, 19/05/2001.

A tabela 2 apresenta a expansão do consumo e da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil referente ao período 1980-2000.

Tabela 2 - Expansão do Consumo e da Capacidade Instalada de Energia Elétrica - Brasil 1980-2000 (BASE: 1980=100).

Anos	Consumo	Capacidade Instalada
1980	100,00	100,00
1981	102,65	112,94
1982	108,68	119,23
1983	116,25	120,62
1984	129,17	126,04
1985	142,16	134,38
1986	153,66	136,88
1987	158,17	146,61
1988	166,98	153,68
1989	174,55	162,01
1990	177,87	164,81
1991	185,77	168,19
1992	189,24	171,38
1993	196,77	174,73
1994	204,14	179,28
1995	215,83	183,51
1996	225,35	189,45
1997	239,28	195,96
1998	248,99	203,14
1999	252,86	211,89
2000	265,50	222,61

Fonte: Instituto Ilumina, em <http://www.ilumina.org.br/de95a2000.html>.

Elaboração: DIEESE

Nessa situação, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (**PROINFA**), contribui para uma maior confiabilidade e segurança ao abastecimento de energia elétrica no país. Esse programa tem a pretensão de assegurar a contratação de 3.300 MW de potência instalada no Sistema Interligado Nacional (SIN) produzidos por fontes eólicas, biomassas e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100 MW de cada fonte. Essa produção dobrará a participação destas fontes na matriz de energia elétrica brasileira, que atualmente respondem por 3,1 % do total produzido e, em 2006 com previsão para 5,9 %, garantindo mais energia limpa, gerada de forma sustentável, para o abastecimento do país.

Além disso, esse Programa é um importante mecanismo para garantir maior inserção do pequeno produtor de energia elétrica e gerar mais empregos no país. Estima-se que durante a construção e a operação dos empreendimentos, serão gerados 150 mil empregos diretos e indiretos, com investimentos do setor privado da ordem R\$ 8,6 bilhões. Vale salientar que um dos referenciais do PROINFA é a questão ambiental, pois todos os empreendimentos contratados terão de ter Licença de Instalação concedida pelos órgãos ambientais.

Através da introdução da tecnologia “Sistema Monofilar com Retorno por Terra” – “MRT”, caracterizada por apresentar simplificações em materiais, estruturas, dispositivos de proteção e propiciar grandes vãos entre postes, obteve-se redução significativa de custos. Este sistema foi definido como sendo prioritário no atendimento de consumidores rurais; dentro do Programa Nacional de Eletrificação Rural “**Luz no Campo**”, programa este criado em dezembro de 1999 pelo Governo Federal com a coordenação do Ministério de Minas e Energia e suporte técnico, financeiro e administrativo da Eletrobrás.

Com uma linha de crédito de R\$ 1,77 bilhão, o programa visava levar energia elétrica a 1 milhão de propriedades rurais e proporcionar

benefícios estratégicos para o desenvolvimento social e econômico do País, como geração de emprego e renda e possibilidades de utilização de fontes de energia renováveis e de equipamentos mais eficientes.

O programa tinha por objetivo contemplar o atendimento das demandas no meio rural através de uma das 03 (três) alternativas, a saber: a) Extensão de Rede, b) Sistemas de Geração Descentralizada com Redes Isoladas e c) Sistemas de Geração Individuais.

Com vistas a acabar com a exclusão elétrica no país, o Governo Federal iniciou em 2004 o “Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - **LUZ PARA TODOS**”, com o objetivo de levar energia elétrica para mais de 12 milhões de pessoas até 2008. O programa é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com a participação da Eletrobrás e atenderá a uma população equivalente aos estados do Piauí, Mato grosso do Sul, Amazonas e Distrito Federal.

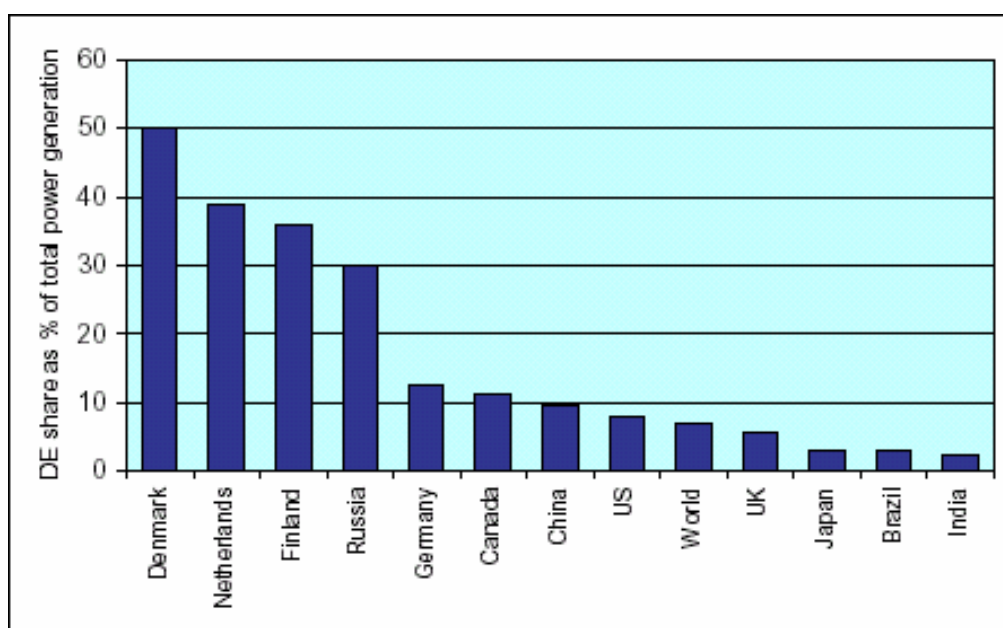
A instalação da energia elétrica até os domicílios será gratuita para as famílias de baixa renda e, para os consumidores residenciais, com ligação monofásica, e consumo mensal inferior a 80 kwh/mês. As tarifas serão reduzidas, conforme previsto na legislação. O governo federal destinará R\$ 5,3 bilhões ao programa. Os governos estaduais e agentes do setor, por sua vez, contribuirão com R\$ 1,7 bilhões, totalizando R\$ 7 bilhões.

O mapa da exclusão elétrica no país revela que as famílias sem acesso à energia estão majoritariamente em localidades de menor Índice de Desenvolvimento Humano e nas famílias de baixa renda. Cerca de 90% das famílias têm renda inferior a 3 (três) salários-mínimos e, 80 % estão no meio rural. Nesse contexto, a energia elétrica se constitui em um vetor de desenvolvimento social e econômico dessas comunidades, contribuindo para a redução da pobreza e aumento da renda familiar. Ela facilitará a integração dos programas sociais do governo federal, além do acesso a serviços de educação, abastecimento de água e saneamento.

A expectativa do governo brasileiro é de antecipar, via **LUZ PARA TODOS**, em 7 (sete) anos, a universalização da energia elétrica no país. Pela legislação vigente, as concessionárias de energia têm o prazo até dezembro de 2015 para eletrificar todos os domicílios sem acesso à energia no Brasil.

2.5 - A Inserção da Geração distribuída em Redes de Distribuição.

A figura 1 apresenta a contribuição percentual da geração distribuída, em relação à geração total de potência em diversos países.



Fonte: WADE 2003/2204

Figura 1 – Percentual da G D em relação à potência total gerada [17].

O percentual brasileiro é compatível aos percentuais do Japão e da Índia. Os maiores percentuais são da Dinamarca, Holanda e Finlândia.

Os principais problemas decorrentes da inserção da geração distribuída, em redes de distribuição, são os de natureza [12]:

- Comercial;
- Gerencial;
- Regulatória;
- Técnica/ Operativa.

As referências [13]-[15] abordam aspectos relativos às questões de natureza: regulatória e técnica/ operacional.

Dentre as principais vantagens da GD, é possível destacar:

- Produção da potência em um local bem próximo de onde é consumida;
- Redução de:
 - Perdas técnicas localmente;
 - Perdas de transmissão;
 - Redundâncias na transmissão e na geração central;
 - Custos de transmissão;
 - Custos marginais de expansão do sistema.
- Possível redução da necessidade de novas linhas de transmissão e de distribuição;
- Rapidez de desenvolvimento;
- Menores dificuldades ambientais;
- Equacionamento do PPA;
- Menores discontinuidades;
- Prestação de serviços ancilares;
- Baixa exposição cambial;
- Menores reservas centrais;
- Menores riscos empresariais.

Como pontos favoráveis da implantação da Geração distribuída (GD) no sistema de transmissão, destacam-se, também, os seguintes aspectos [16]:

- Redução da dependência de fontes de mesma natureza, ensejando a diversidade tecnológica.
- Redução da dependência de importação de energia em algumas regiões.

Por sua vez, as desvantagens mais marcantes são [12]:

- Maior complexidade no nível de operação do despacho central, inclusive de ordem técnica.
- Impactos importantes com conseqüente necessidade de modificações nos procedimentos de operação, proteção, controle, dentre outros procedimentos da rede de distribuição.

Essa tecnologia possibilita ao consumidor:

- Garantir o seu próprio suprimento a custos menores que os obtidos se comprada essa energia da rede.
- Ter a sua produtividade aumentada.
- Gerar renda extra, marginal, caso haja excedente.

A figura 2 apresenta um diagrama no qual é possível identificar os sentidos do fluxo da geração distribuída, que pode ocorrer tanto no sentido de suprir a demanda de determinadas cargas quanto de geração de energia para o próprio sistema de alimentação.

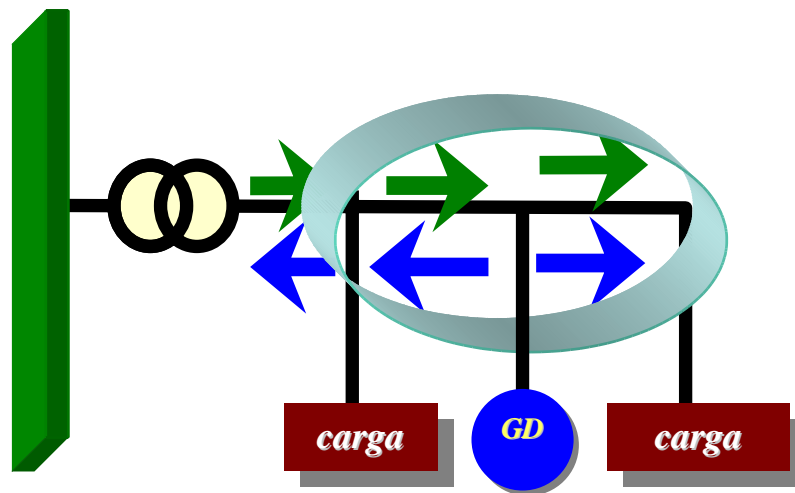


Figura 2 – Sentidos do fluxo da geração distribuída no sistema [12].

Uma projeção para a penetração da Geração distribuída na Matriz Energética, até o ano de 2013 é apresentada na figura 3, considerando 3 (três) cenários: 8%, 10% e 12%.

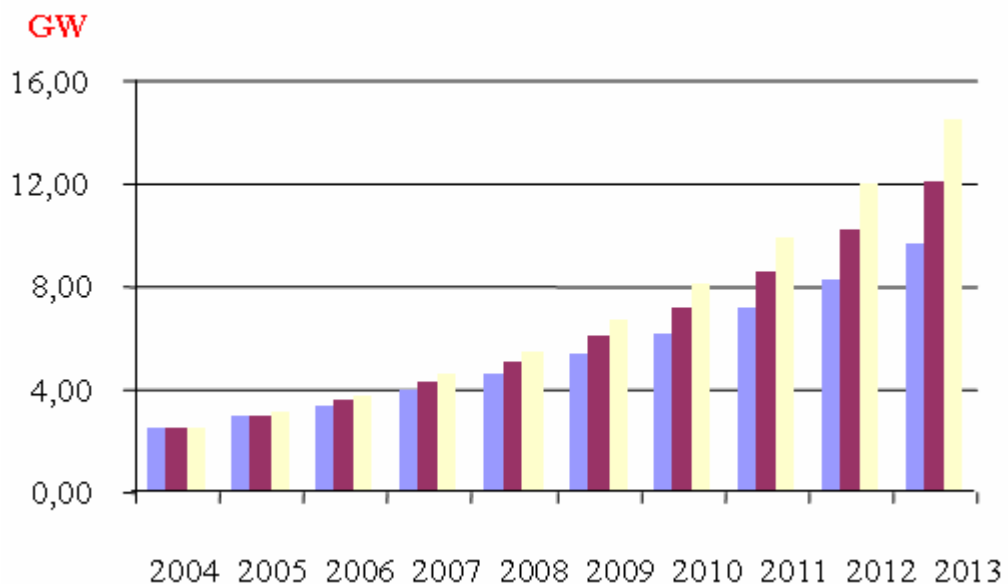


Figura 3 – Perspectiva de penetração da GD até 2013 [17].

Essa projeção aponta para um crescimento da ordem de 16%, 18,9% e de 21,3% para os cenários com base em 8%, 18,9% e 21,3%, respectivamente, conforme tabela 3 [17].

Tabela 3 – Perspectiva de crescimento da GD [17].

	8 %	10 %	12 %
	% da GD na nova Potência		
2005	12 %	14 %	16 %
2009	19 %	24 %	30 %
2013	29 %	41 %	55 %
	Crescimento da GD		
	16 %	18,9 %	21,3 %

2.6 – Impactos na Qualidade de Energia

A partir da década de 1990, em função de aspectos econômicos e ambientais tem-se observado um incremento significativo de fontes de geração de pequena potência [18], [19]. Pode-se citar como forte fator impulsionador para essa tendência, o aumento dos preços dos combustíveis tradicionais, notadamente o petróleo e seus derivados, além dos aspectos sabidamente poluidores que esta fonte de energia representa para o planeta.

Como resultado dessa nova realidade, os sistemas elétricos são cada vez mais, incrementados com fontes alternativas de energia que, em regra, na forma de geração distribuída (GD) função de sua localização e reduzida potência. No entanto, é importante destacar que a crescente ampliação de fontes de geração de pequeno porte, vem sendo motivo de crescente

preocupação no tocante aos aspectos da estabilidade do sistema como do ponto de vista da qualidade da energia de suprimento [8] [20]-[22].

Esta questão ganha importância à medida que o percentual da geração distribuída (GD), ou penetração, atinge patamares significativos relativamente à geração dita convencional, num determinado ponto do sistema interligado nacional – SIN, notadamente se trata de um ponto com baixo nível de curto circuito.

Com vistas a equacionar as questões levantadas, um conjunto de ações devem ser adotadas, no que diz respeito à definição de modelos computacionais de unidades comumente utilizadas como geração distribuída, de maneira a incluí-los nos programas utilizados pelas empresas envolvidas do setor elétrico nacional, possibilitando assim, a realização de estudos prospectivos, que permitam antever possíveis impactos indesejáveis para o sistema integrado [23]-[25].

Embora o tema seja relevante no contexto da geração da energia elétrica, o mesmo não se enquadra no foco deste estudo, motivo pelo qual não se faz um maior aprofundamento sobre essas questões.

2.7 - Análise de Conjuntura

Considerando que a situação dos níveis dos reservatórios das usinas hidroelétricas brasileiras, em especial da região sudeste, se agravou, além do que as probabilidades estatísticas estariam indicando em passado próximo, parece ser de todo conveniente que, além de prosseguir na direção da implantação do Programa Prioritário das Termoelétricas; seja considerado pelo Governo o estímulo imediato à geração distribuída de forma a minorar os problemas que devem ocorrer nos setores industriais, comerciais e de serviços decorrentes de possíveis medidas de racionamento.

Na figura 4, apresentada a seguir, consta uma projeção da demanda de energia de 2004 até 2013, considerando 3 (três) cenários: cenário referência, cenário alto e cenário baixo. Analisando o pior caso constata-se que a demanda que em 2004 era de 42508 MW atingirá o patamar de 72262 MW, representando um incremento da ordem de 70 %. Já no caso mais otimista esse incremento será da ordem de 37%. No cenário adotado como referência, a demanda crescerá algo em torno de 59% [26].

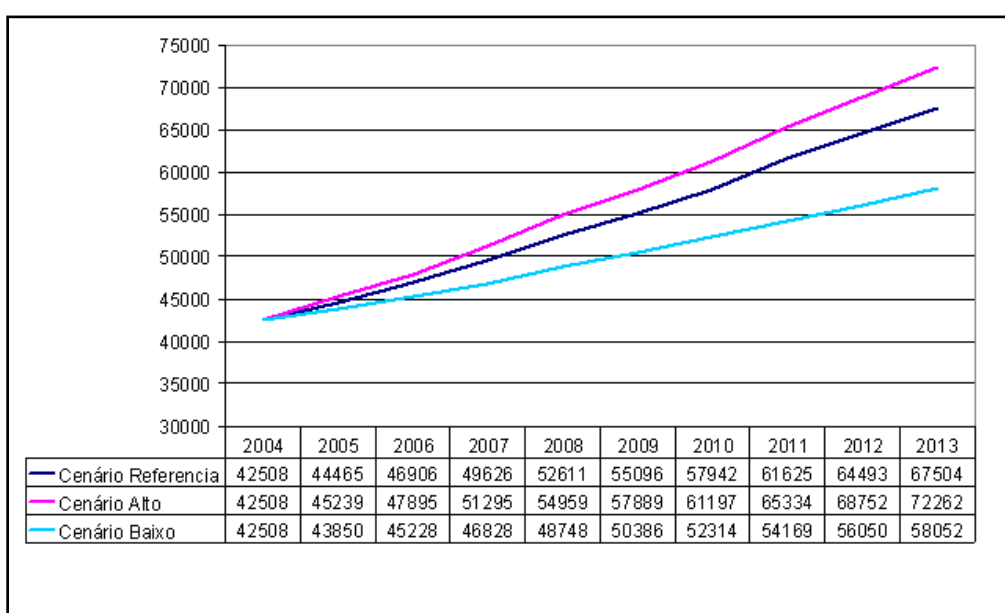


Figura 4 – Perspectivas da incerteza da demanda de energia [26].

Para suprir essas demandas a matriz energética contempla várias tecnologias. A tabela 4 apresenta os custos, a entrada em vigor e a validade de contrato para as gerações hídrica, térmica e para a geração distribuída.

Tabela 4 – Tecnologias candidatas a suprir a demanda [26]

Tipo de Tecnologia	Preço (R\$/MWh)	Entrada em Vigor	Validade do Contrato
Hídrica	100	5 anos	20 anos
Térmica	120	3 anos	20 anos
Geração distribuída	140	2 anos	20 anos

O gráfico da figura 5 se refere a uma projeção dos anos de 2009 a 2012 da contratação média da energia hídrica, térmica e geração distribuída. Segundo esse estudo, a geração distribuída irá superar, em termos de contratações, a geração térmica a partir de 2011, alcançando o patamar de 14% no ano de 2012.

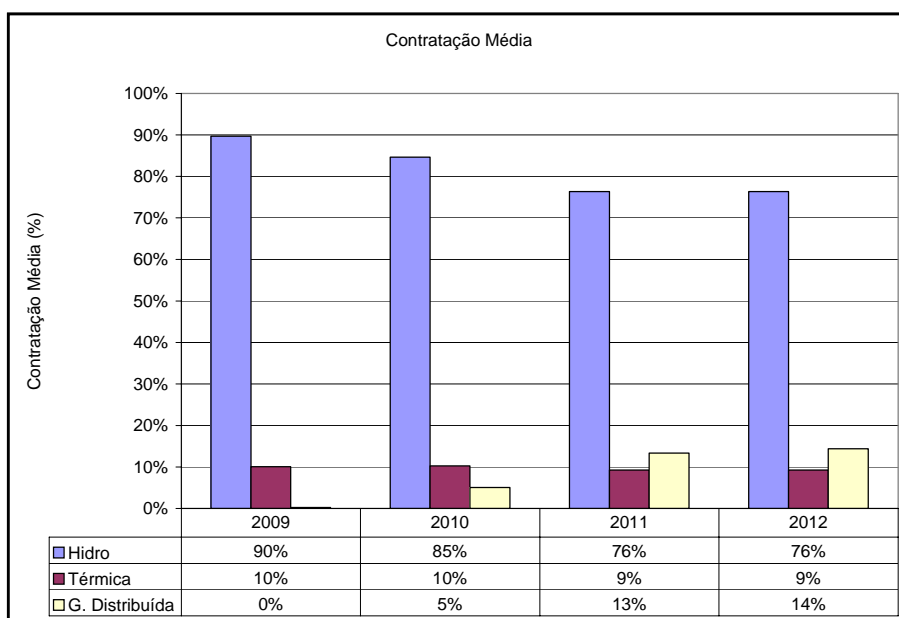


Figura 5 – Contratação média da GD a R\$ 140/ MWh [26].

Por meio do gráfico da figura 6, é possível constatar que, um custo menor faz com que haja um incremento na contratação da Geração distribuída, tendo por consequência uma maior inserção na matriz energética de modo que no ano de 2012 alcançará um percentual de contratação da ordem de 17%. Nesse caso, haverá uma queda superior a 30% na contratação da Energia Térmica o que resultará em um pequeno incremento na contratação da energia hídrica, em comparação aos dados apresentados na figura 5.

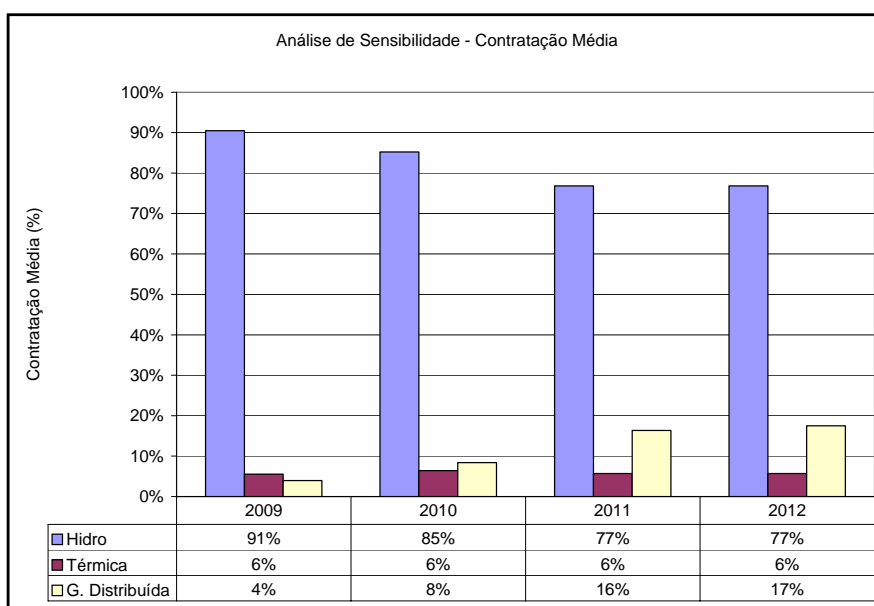


Figura 6 – Sensibilidade da GD a R\$135 /MWh [26].

O gráfico da figura 7 apresenta um estudo da oferta e da demanda de energia, sendo os dados de 2004, referentes ao ano em que o estudo foi realizado e os demais dados são projeções. A tendência considerada aponta que o equilíbrio entre oferta e demanda deverá ocorrer por volta de 2008. A realidade atual deve seguir neste rumo, mesmo levando em conta a crise do agro-negócio na safra 2005 / 2006, provocando redução nas projeções de consumo, mas que foi equilibrada com a queda também na oferta de energia nova, por conta da crise de oferta do gás natural.

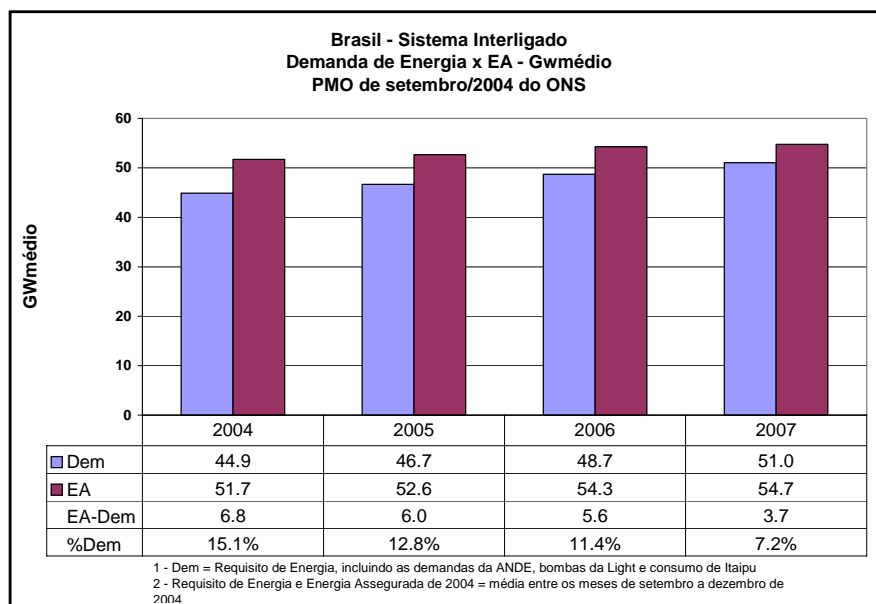


Figura 7 – Balanço oferta x demanda de energia [26].

2.8 - Tendências da Geração Distribuída

Um novo modelo para a rede de energia elétrica, suportado pelos avanços tecnológicos, internet, sofisticados softwares de comando, controle e comunicação trarão significativos avanços para as linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, viabilizando ainda mais a conexão de pontos de geração distribuída. A feliz colisão entre mercado, ambientalismo e inovação tecnológica justifica uma tendência mais forte da energia hoje: micro geração, que coloca pequenas - e limpas - usinas de geração de energia próximas às casas e fábricas. As redes elétricas, apoiadas nas novas tecnologias estarão melhor preparadas para lidar com os futuros fluxos complexos e multidirecionais que resultarão de micro geradores vendendo energia para a rede, assim como comprando dela, de forma aleatória comandada pela necessidade e vantagem do momento.

Nessa perspectiva, é conveniente que o Governo analise a possibilidade de autorizar as companhias distribuidoras a se utilizarem dos recursos a que são obrigadas a investir no combate ao desperdício de energia elétrica para o aumento da eficiência energética, envolvendo a implantação de micro geração distribuída nas suas áreas de concessão. Além de outras medidas que visariam eliminar as barreiras para o desenvolvimento da energia distribuída e de outras que objetivarem estimular sua rápida implantação seria oportuno também:

- a) Isentar, temporariamente, os impostos I.I., IPI e ICMS incidentes sobre equipamentos destinados ao aumento da eficiência energética e geração de energia distribuída baseados em fontes renováveis de energia e resíduos industriais e urbanos;
- b) Adotar temporariamente, medidas fiscais e tributárias de modo a estimular o uso da energia distribuída;
- c) Considerar como autoprodutores as cooperativas, os consórcios, as associações ou outra forma jurídica apropriada de consumidores, inclusive pequenos produtores rurais, com a finalidade de produção de utilidades para seus integrantes;
- d) Criar, imediatamente, tarifas interruptíveis, ou seja, uma menor formalidade na contratação de fornecimento quanto a obrigatoriedade de constância no fornecimento; de livre negociação entre concessionárias e autoprodutores de modo a estimular a geração distribuída em áreas críticas.
- e) Atualizar tecnologicamente o PROCEL transformando-o em um Programa Nacional de Aumento da Eficiência Energética.

Por fim, é preciso considerar que as diferentes normas de interconexão que existem atualmente no nosso país, emitidas por cada uma das distribuidoras, hoje em sua maioria privatizadas, seguindo seus próprios critérios e interesses comerciais, inibem que a geração distribuída possa se desenvolver e mesmo agregar sua massa geradora existente e pulverizada, isso mais ainda em se tratando da micro geração distribuída .

2.9 - Regulamentação da Geração Distribuída

A legislação básica do setor elétrico se formou ao longo de quase 70 anos de história. É uma soma de artigos da Constituição, leis complementares e ordinárias, decretos, portarias interministeriais, portarias do Ministério de Minas e Energia e do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), resoluções da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), conjuntas e Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

No Brasil, a Geração distribuída (GD) é normalmente implementada por pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia gerada, por sua conta e risco (produtor independente); e por pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcios que recebam concessão ou autorização para gerar energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (auto produtor).

Essa definição consta do decreto nº 2003 de 10 de dezembro de 1996, que trata da concessão da geração distribuída (GD), o qual demarcou, também, as faixas de aproveitamento de potência em que se enquadrariam os produtores independentes e autoprodutores e como se daria o processo de licitação.

A base legal para a reestruturação do setor elétrico e para a definição da Geração distribuída (GD), foram as seguintes leis [20]:

- Lei nº 9.074 de 07/07/1995, que estabeleceu normas para outorga e prorrogação de concessões e permissões de serviços públicos;
- Lei nº 9.427 de 26/12/1996, que instituiu a ANEEL;
- Lei nº 9.648 de 28/05/1998 (com alterações dadas na Lei nº 9.984 de 17/07/00) que alterou leis anteriores e autorizou a reestruturação da ELETROBRÁS, completada pelo decreto nº 2.003 de 10/09/1996, que regulamentou a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor;
- Decreto nº 2.655 de 02/07/1998 (com alterações dadas no Decreto nº 3.653 de 07/11/2000), que regulamentou o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), definindo a organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS);
- Decreto nº 2.335 de 06/10/1997, referente à ANEEL, aprovando a estrutura regimental e o quadro demonstrativo de cargos em comissão e funções de confiança e outras providências;
- Em particular o 6º do Art. 15 da Lei nº 9.074 e o Art. 13 do Decreto 2.003, assegurando ao Produtor Independente e ao autoprodutor o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de concessionárias, mediante ressarcimento do custo de transporte envolvido.

As principais leis vigentes relativas à comercialização de energia elétrica estão relacionadas a seguir. Elas estão apenas citadas por conteúdo. No anexo I está transcrita a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, com comentários sobre partes alteradas ou regulamentadas por outras leis, contendo, também, grifos que evidenciam assuntos correlacionados diretamente com os objetivos deste trabalho no que se refere à comercialização de energia em pequenas quantidades por pequenos produtores rurais.

- Decreto Lei nº 5.177 DE 12 de Agosto de 2004, que regulamenta os Arts. 4 e 5 da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE;
- Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nº 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Alguns dispositivos desta Lei foram regulamentados pelo Decreto nº 5.163, de 30.07.2004;
- Medida Provisória nº 144, de 10 de dezembro 2003. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências;

- Decreto nº 4.713, de 29 de maio de 2003, que revoga o art. 4º do Decreto nº 4.562, de 31 de dezembro de 2002, que estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das Concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão – TUST;
- Decreto nº 4.667, de 4 de abril de 2003, que altera o Decreto no 4.562, de 31 de dezembro de 2002, que estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST; o Decreto no 62.724, de 17 de maio de 1968, que estabelece normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica, e dá outras providências;
- Decreto nº 4.562, de 31 de dezembro de 2002. Estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da

metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST, e dá outras providências;

- Decreto nº 4.541, de 23 de dezembro de 2002, que regulamenta os Arts. 3º, 13, 17 e 23 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA e a Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, e dá outras providências;
- Lei nº 10.604, de 17 de dezembro de 2002, que dispõe sobre recursos para subvenção aos consumidores de energia elétrica da Subclasse Baixa Renda, dá nova redação aos Arts. 27 e 28 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências;
- Decreto n. 4.508, de 11 de dezembro de 2002, que dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional; ou importado, para comercialização, ou uso no Brasil, e dá outras providências;
- Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras

providências. Alguns dispositivos desta Lei foram regulamentados pelo Decreto nº 5.163, de 30.07.2004;

- Convênio ICMS 103, de 29 de outubro de 2001, que dispõe sobre o cumprimento de obrigações tributárias em operações com energia elétrica;
- Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, que altera dispositivos das Leis nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nº 9.074, de 07 de julho de 1995, nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da: Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias, e dá outras providências;
- Decreto no 2.410, de 28 de novembro de 1997, que dispõe sobre o cálculo e o recolhimento da Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica instituída pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e dá outras providências.

2.10 – Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado um panorama sobre a geração distribuída no Brasil, com um breve histórico e comentando suas tendências. Também foram analisadas fontes alternativas de energia que se constituem opções para compor a proposta de micro geração distribuída.

No capítulo seguinte estão mostrados estudos técnicos e análise de custos com implantação de protótipos de micro centrais hidroelétricas com geração por tecnologia assíncrona, demonstrando sua viabilidade na micro geração distribuída. Também é apresentado um estudo por simulação digital mostrando a viabilidade da implantação de micro centrais distribuídas nas redes de distribuição rurais, como fator otimizador dessas linhas, geralmente precárias em regulação de tensão e nível de curto circuito.

Capítulo III

DESENVOLVIMENTO E ENSAIOS EXPERIMENTAIS DOS PROTÓTIPOS DO GERADOR DE INDUÇÃO

3.1 - Considerações Iniciais

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento de um protótipo de uma micro central hidroelétrica com geração por máquina assíncrona, assim como os resultados dos ensaios experimentais realizados em laboratório e no campo em instalações reais.

Os dados obtidos por instrumentos mostram o comportamento dos níveis de geração, durante um período de leitura de consumo de uma propriedade rural.

3.2 - Protótipo Ensaiado no Laboratório:

Com o propósito de escolher equipamentos, definir instrumentos, escalas, rotações e outras variáveis, desenvolveu-se inicialmente o que foi chamado de protótipo, no laboratório, onde as condições são mais favoráveis e os meios mais acessíveis. Em segundo momento o trabalho foi levado para o campo.

Para máquina empregada como gerador de indução foi escolhido um motor marca WEG, monofásico, blindado, dotado de quatro pólos, com velocidade nominal de 1750 rpm a plena carga, potência nominal de 2,2 kW, enrolamentos para 220 e 440 volts e rotor em gaiola. Apenas seu enrolamento principal foi conectado, deixando o enrolamento de partida, bem como capacitor e chave centrífuga desativados.

Para acionamento do gerador utilizou-se como máquina primária um motor de corrente contínua de 4 kW, acionado por duas fontes independentes de tensão, uma para campo e outra para armadura. A escolha da máquina CC como máquina primária, simulando a turbina hidráulica, se fez devido à facilidade de controle da velocidade daquela máquina, o que possibilitou fácil ajuste do valor desejado para escorregamento da máquina ensaiada.

A figura 8 apresenta fotografia do protótipo, montado no laboratório de máquinas elétricas.



Figura 8 – Ensaio do protótipo em laboratório.

Com esse experimento foi possível operar o gerador apenas com escorregamentos próximos de 1 %, devido à limitação das fontes de alimentação da máquina primária.

Os dados de energia gerada, ativa e reativa, fator de potência, ângulo de fase, tensão e corrente geradas, foram registrados através de aparelho analisador de energia marca Instrutherm, modelo AE-200. Foi também utilizado um tacômetro digital para avaliar e ajustar rotação do conjunto.

Como se trata de máquina assíncrona, nenhum cuidado se faz necessário quanto a sincronismo entre máquina e rede ou quanto a ajustes

de tensão gerada ou fluxo de reativo. Em caso de desligamentos do sistema, não se corre risco de realimentações perigosas para a rede, pois a máquina de indução não gera se a rede não estiver alimentando seu reativo. Mesmo quando dotada de capacitor para correção do fator de potência, o reativo do mesmo não se torna fator de risco, pois em se tratando de máquinas de pequena potência, tal reativo não é suficiente para manter a excitação da máquina geradora, das cargas reativas e do transformador rural da propriedade, levando a máquina à desexcitação ao ser cortado o fornecimento da rede.

Os principais dados obtidos em cada intervalo estão apresentados na tabelas 5.

Tabela 5 - Dados do protótipo em laboratório.

Gerador: Máquina assíncrona marca WEG, monofásica, blindada, 2,2 kW – 220 volts.						
	V	I	Ø	P	Q	Cos Ø
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	224,7	7,66	70,7	568	1.624,40	0,33
2	224,9	7,98	74,3	485,6	1.727,70	0,27
3	225,1	7,84	77,7	375,9	1.724,30	0,21
4	224,9	7,84	74,7	465,26	1.700,70	0,26
5	225,0	7,79	77,4	382,34	1.710,50	0,22
6	224,8	7,84	74,3	476,9	1.696,70	0,27
7	225,0	7,83	76,6	408,28	1.713,80	0,23
8	225,1	7,88	77,7	377,86	1.733,00	0,21
9	224,9	7,65	74,7	453,98	1.759,50	0,25
10	224,8	7,84	74,3	476,91	1.696,70	0,27

Como as máquinas assíncronas de pequena potência geralmente apresentam fator de potência baixo, fato mostrado nos resultados obtidos na tabela 5, pode-se normalmente corrigir o baixo fator de potência pela instalação de capacitores junto a máquina, da mesma forma que se procede com um motor assíncrono.

A tabela 6 mostra como se comportaria o protótipo tendo em paralelo um capacitor de 90 μF , que equivale a aproximadamente 1.700 VAR, tomando-se por base os valores médios de potência e tensão da tabela 5.

Tabela 6 - Dados do protótipo em laboratório, com fator potência corrigido.

Gerador: Máquina assíncrona marca WEG, monofásica, blindada, 2,2 kW – 220 volts, com correção do $\cos \phi$.						
	V	I	ϕ	P	Q	Cos ϕ
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	224,7	2,55	0,13	568,0	75,6	0,99
	224,9	2,17	-3,26	485,6	-27,7	0,99
3	225,1	1,72	-14,14	375,9	-94,7	0,97
4	224,9	2,09	-7,93	465,26	-64,8	0,99
5	225,0	1,72	-9,39	382,34	-63,2	0,98
6	224,8	2,13	-6,32	476,9	-52,8	0,99
7	225,0	1,84	-8,69	408,28	-62,4	0,99
8	225,1	1,70	-9,29	377,86	-61,8	0,98
9	224,9	2,04	-9,23	453,98	-73,8	0,98
10	224,8	2,12	-2,46	476,91	-20,5	0,99

O dimensionamento do capacitor foi realizado apenas considerando a necessidade de fornecimento de reativo ao gerador assíncrono, considerando média dos dados medidos quando da sua operação sem capacitor.

3.3 - Protótipos Ensaçados no Campo

Ao longo do trabalho experimental foram montadas duas micro-usinas em locais diferentes para obtenção de dados reais no campo. A primeira na fazenda “Dona Miquelina”, no município de Santo Antonio de Leverger – MT, e a segunda na “Estância Cocalinho” no município de Nossa Senhora do Livramento MT.

3.3.1 – Protótipo Instalado na Fazenda Dona Miquelina

O protótipo foi montado inicialmente na fazenda “Dona Miquelina”, localizada na Serra de São Vicente, no município de Santo Antonio de Leverger no Mato Grosso. Localidade distante 95 km da capital Cuiabá.

O local foi escolhido porque lá existe uma micro usina hidroelétrica que, com o advento da instalação da rede de distribuição rural integrante do programa “Luz para Todos”, do governo federal, a geração própria foi desativada, depois de ter operado por mais de 20 anos.

A máquina primária, uma turbina tipo Francis caracol, foi recuperada, tendo sido realizada manutenção corretiva com substituição dos rolamentos dos mancais e lubrificação geral. Do sistema original foram suprimidos o regulador de velocidade, o gerador síncrono, o volante de inércia, o regulador de tensão e o painel de controle.

Como gerador foi instalada, inicialmente, uma máquina assíncrona de 2,2 kW, também com o enrolamento auxiliar de partida e seus componentes desligados. Em segunda experimentação uma máquina de 4,0 kW, nas mesmas condições. O Acoplamento ao eixo da turbina foi realizado por meio de sistema de polias e correia em V, com relação de diâmetro entres polias de forma a obter rotação nominal no gerador

assíncrono, para carga nominal. Vale ressaltar que, a forma com que se atua para que o gerador assíncrono assumira carga do sistema é ajustando a sua velocidade de operação para escorregamento negativo.

Acionada a “usina de indução”, colheu-se os dados que, registrados por analisador, estão apresentados em amostragem nas tabelas 7 e 8, adiante.

Tabela 7 – Protótipo instalado no campo: Máquina de 2,2 kW

Gerador: Máquina assíncrona marca WEG, monofásica, blindada, 2,2 kW – 220 volts						
	V	I	Ø	P	Q	Cós Ø
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	216,8	15,20	55,9	1.487,00	2.728,00	0,56
2	216,6	16,10	58,0	1.847,90	2.957,00	0,53
3	216,5	15,62	58,3	1.777,00	2.877,00	0,53
4	216,3	16,41	59,6	1.796,00	3.061,00	0,51
5	216,7	16,14	59,6	1.769,15	3.017,00	0,51
6	216,6	16,35	59,0	1.823,00	3.036,00	0,52
7	216,9	14,77	55,9	1.796,00	2.653,00	0,56
8	216,4	14,15	54,2	1.791,17	2.484,00	0,58
9	217,0	14,31	54,8	1.789,00	2.537,00	0,58
10	216,9	13,39	53,9	1.711,00	2.347,00	0,69

Energia medida ativa no período de 36 horas = 64 kWh
Energia prevista para período de 30 dias = 1.280 kWh

Tabela 8 – Protótipo instalado no campo: Máquina de 4,0 kW

Gerador: Máquina assíncrona marca WEG, monofásica, blindada,
4 kW – 220 volts

	V	I	Ø	P	Q	Cós Ø
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	218,4	20,60	36,87	3.599,20	2.699,40	0,80
2	217,9	20,40	37,20	3.540,70	2.687,50	0,80
3	217,5	21,00	35,45	3.720,80	2.649,10	0,81
4	218,0	20,80	36,09	3.664,20	2.671,00	0,81
5	218,1	20,70	35,67	3.667,70	2.632,60	0,81
6	217,7	20,60	37,00	3.581,60	2.698,90	0,80
7	218,3	20,40	36,65	3.572,90	2.658,30	0,80
8	219,8	21,30	35,78	3.798,10	2.737,30	0,81
9	218,1	20,20	36,02	3.563,30	2.590,80	0,81
10	217,8	20,00	38,20	3.423,20	2.693,80	0,79

Energia medida ativa no período de 36 horas = 137,27 kWh

Energia prevista para período de 30 dias = 2.745,4 kWh

Nas tabelas 9 e 10 estão apresentados os resultados considerando-se a correção do fator de potência pela instalação de um banco de capacitores de 150 μ F, com geração de aproximadamente 2.700 Vars.

Tabela 9 – Protótipo 2,2 kW, com correção do fator de potência.

Gerador: Máquina assíncrona marca WEG, monofásica, blindada, 2,2 kW – 220 volts.

	V	I	Ø	P	Q	Cos Ø
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	216,8	6,86	55,9	1.487,00	28,00	0,99
2	216,6	8,61	58,0	1.847,90	257,00	0,99
3	216,5	8,25	58,3	1.777,00	177,00	0,99
4	216,3	8,47	59,6	1.796,00	361,00	0,98
5	216,7	8,29	59,6	1.769,15	317,00	0,98
6	216,6	8,56	59,0	1.823,00	336,00	0,98
7	216,9	8,28	55,9	1.796,00	-47,00	0,99
8	216,4	8,34	54,2	1.791,17	-216,00	0,99
9	217,0	8,28	54,8	1.789,00	-163,00	0,99
10	216,9	8,05	53,9	1.711,00	-353,00	0,98

Tabela 10 – Protótipo, 4,0 kW, com correção do fator de potência.

Gerador: Máquina assíncrona marca WEG, monofásica, blindada, 4 kW – 220 volts, com banco de capacitores.

	V	I	Ø	P	Q	Cos Ø da Carga
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	218,4	16,48	0,01	3.599,20	0,60	0,99
2	217,9	16,25	0,20	3.540,70	-12,50	0,99
3	217,5	17,11	0,80	3.720,80	-50,90	0,99
4	218,0	16,81	0,45	3.664,20	-29,00	0,99
5	218,1	16,82	1,05	3.667,70	-67,40	0,99
6	217,7	16,45	0,02	3.581,60	-1,10	0,99
7	218,3	16,39	0,67	3.572,90	-41,70	0,99
8	219,8	17,28	0,56	3.798,10	37,30	0,99
9	218,1	16,35	1,76	3.563,30	-109,20	0,99
10	217,8	15,72	0,10	3.423,20	-6,20	0,99

3.3.2 – Protótipo Instalado na Estância COCALINHO

O segundo protótipo de campo foi instalado na “Estância Cocalinho”, localizada no município de Nossa Senhora do Livramento, no Mato Grosso, distante 70 km da capital Cuiabá.

No local existe uma represa com barragem que possibilitou queda d'água de 4,5 metros. Foi idealizada uma micro-central hidroelétrica para aproveitamento de aproximadamente 1,0 kW. A diferença fundamental em relação ao primeiro experimento é que, para testar alternativa de baixo custo, utilizou-se uma bomba centrífuga recondicionada para, em lugar da turbina, extrair energia da queda d'água e acionar o gerador assíncrono. Desta forma foi possível, além da obtenção dos dados de rotação e geração, um estudo de custos por utilização de tecnologia simples.

A estância conta ainda com energia rural atendida através de rede monofásica com retorno pela terra, em classe 15 kV, distante, aproximadamente, de 17 km do tronco trifásico de distribuição da concessionária.

Foi construída a micro central hidroelétrica, tendo como turbina uma bomba centrífuga de fabricação KSB, vazão nominal = 150 m³ / hora e altura manométrica = 26 mca. A escolha se deu pela disponibilidade da bomba. A eficiência do aproveitamento poderia ser aumentada com a utilização de uma bomba comercial com curva de operação mais próxima dos dados hidráulicos disponíveis.

A configuração da micro central está mostrada na figura 21. Compõe-se de uma tomada d'água direta na represa, a montante da barragem, conduzida até a casa de máquinas por meio de tubulação de $\Phi = 100$ mm. O comando é realizado por meio de uma válvula na captação.

A bomba, funcionando como turbina, tem a água entrando pela flange de recalque e desaguando pela flange de sucção, esta operando

afogada para reduzir efeito de cavitação. A turbina assim constituída transfere a energia de rotação ao gerador de indução através de acoplamento por polias de canal A e correia em V. Tal acoplamento se mostra adequado por não exigir alinhamento rigoroso, de difícil obtenção no campo, e facilitando ajuste de rotação por meio da relação entre os diâmetros das polias da turbina e do gerador.

Também neste protótipo, por se tratar de geração assíncrona, não foram instalados volante, regulador de velocidade e regulador de tensão.

Utilizou-se como gerador um motor monofásico marca Kohlbach, de 3,0 cv para geração conectado ao sistema fase – neutro da energia comercial disponível no local. Também neste experimento foi conectado apenas o enrolamento principal de armadura da máquina, mantendo-se desligados o enrolamento de partida, o capacitor e a chave centrífuga.

A conexão da máquina à rede da concessionária foi realizada por meio de um disjuntor termomagnético com corrente nominal de 20 A.

A vazão na tubulação de queda foi medida cronometrando o enchimento de um recipiente de volume conhecido. Desta forma obteve-se vazão de 85 litros por a segundo, cerca de 300 m³ por hora.

Os dados de geração obtidos estão amostrados nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Protótipo instalado no campo: 3,0 cv

Gerador: Máquina assíncrona marca Kohlbach, monofásica, 3 cv – 127 volts.

	V	I	Ø	P	Q	Cos Ø
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	127,45	18,20	71,65	730,25	2.201,64	0,31
2	127,82	18,12	72,14	710,32	2.204,48	0,31
3	127,42	18,19	69,98	793,48	2.177,72	0,34
4	127,54	18,34	71,43	744,04	2.217,30	0,32
5	127,67	18,12	72,23	704,49	2.203,50	0,31
6	127,39	18,03	73,00	671,52	2.196,48	0,29
7	127,43	18,18	71,67	728,56	2.199,13	0,31
8	127,45	18,20	72,45	699,44	2.211,62	0,30
9	127,38	18,31	73,06	679,56	2.231,13	0,29
10	127,35	18,00	72,05	706,41	2.180,73	0,31
Energia prevista para período de 30 dias				516,10	kWh	

Tabela 12 – Protótipo, 3,0 cv, com correção do fator de potência

Gerador: Máquina assíncrona marca Kohlbach, monofásica, 3 cv – 127 volts, com banco de capacitores.

	V	I	Ø	P	Q	Cos Ø
	Volts	Ampères	Graus	Watts	Vars	
1	127,45	5,74	4,05	730,25	51,64	0,99
2	127,82	5,57	4,39	710,32	54,48	0,99
3	127,42	6,23	2,00	793,48	27,72	0,99
4	127,54	5,86	5,17	744,04	67,30	0,99
5	127,67	5,53	4,35	704,49	53,50	0,99
6	127,39	5,28	3,96	671,52	46,48	0,99
7	127,43	5,73	3,86	728,56	49,13	0,99
8	127,45	5,51	5,04	699,44	61,62	0,99
9	127,38	5,37	681	679,56	81,13	0,99
10	127,35	5,52	2,49	706,41	30,73	0,99
Energia prevista para período de 30 dias				516,10	kWh	

Aqui foi considerado a instalação de um banco de capacitores de $350\mu\text{F}$, produzindo aproximadamente 2.150 VAR.

É de se ressaltar que a geração por meio de máquina de indução é apropriada a aproveitamento de pequenos potenciais hidráulicos com operação “a fio d’água”. Uma vez que sua atuação não é função da carga. A máquina de indução gera quantidade de energia constante e injeta no sistema interligado, não sendo afetada pelas variações na carga ou no consumo da propriedade. Por essa razão não se necessita investir em regulação de tensão e regulação de velocidade. Uma vez ajustada a velocidade de operação, ou seja, o escorregamento da máquina, a quantidade de energia gerada será constante. Assim sendo não se necessita reservatório regulador de água. A central é ideal para operar a fio d’água.

As figuras 9 e 10, apresentam fotos do laboratório de máquinas elétricas da UFMT e da realização do experimento. As figuras 11 a 21 ilustram o protótipo instalado no campo.



Figura 9 – Laboratório de máquinas Elétricas – UFMT.



Figura 10 - Laboratório de Máquinas Elétricas – UFMT.

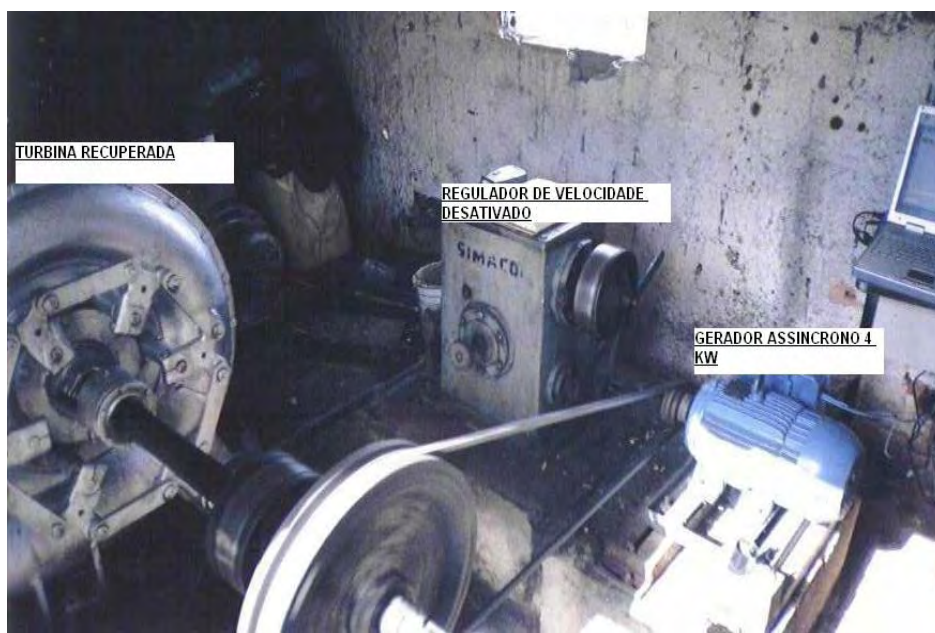


Figura 11 – Protótipo instalado na Fazenda D. Miquelina.

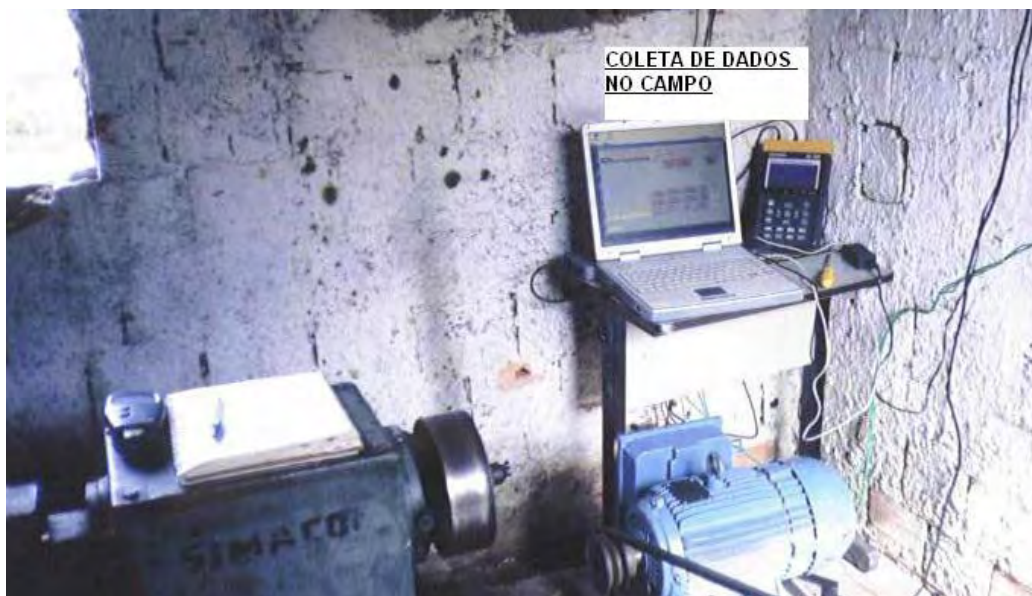


Figura 12 – Coleta de dados no protótipo em condições reais.



Figura 13 – Ilustração do reservatório e casa de máquinas do protótipo.



Figura 14 – Rede de suprimento da fazenda.



Figura 15 – Protótipo – Estância Cocalinho.



Figura 16 – Protótipo – Estância Cocalinho – BFT.



Figura 17 – Protótipo – Estância Cocalinho – Coleta de dados.



Figura 18 – Protótipo – Estância Cocalinho – Tubulação de queda.



Figura 19 - Protótipo – Estância Cocalinho.



Figura 20 – Protótipo – Estância Cocalinho – BFT.



Figura 21 – Protótipo Estância Cocalinho: Represa e tomada d'água.

3.4 - A Utilização da Micro-Geração Distribuída Rural como Fator Otimizador das Linhas de Distribuição Rurais

Como o universo proposto é o das pequenas propriedades rurais já atendidas por eletrificação rural, portando composto, normalmente, por redes com sistema MRT (redes monofásicas com retorno pela terra), a partir de linhas tronco trifásicas. Tais linhas monofásicas, muitas vezes bastante longas e pouco estáveis atendem regiões extensas e de baixa densidade de consumidores, portanto são economicamente precárias. As grandes distâncias existentes entre propriedades fazem com que apresentem elevadas perdas técnicas comparadas com as quantidades de energia comercializadas. Muitas vezes apresentam problemas com regulação de tensão e baixo nível de curto circuito, entre outros problemas, que as fazem também tecnicamente precárias.

Com a implantação de diversas unidades de micro geração em uma determinada região, teremos a injeção de quantidades de energia distribuída ao longo do sistema. Essa situação trás alterações técnicas como: Parte da energia dos consumidores; provém de seus vizinhos o que faz reduzir a corrente na linha como um todo e nos alimentadores. A redução de corrente nas longas linhas resulta certamente em redução de perdas ôhmicas [27].

Para demonstrar tais benefícios ao sistema, foram realizadas algumas simulações digitais a partir de dados do sistema de distribuição rural onde foi implantado e estudado um protótipo de micro geração assíncrona.

Trata-se de uma rede de distribuição monofásica, em 34,5 kV, condutorada com cabo de alumínio # 2 CAA.

O diagrama da figura 1, mostrada no anexo I mostra resumidamente o sistema de distribuição real. Para efeito de cargas utilizou-se a potência

de cada transformador com fator de carga de 40 %. A figura 1, mostrada no anexo I, apresenta o circuito equivalente da rede de distribuição.

Numa primeira simulação utilizamos um software dedicado, elaborado pela concessionária Rede Cemat, que dispõe dos parâmetros de toda a rede e realiza nele simulações de diversas situações de operação. O trabalho foi executado nos computadores da concessionária, pois o programa é de uso restrito. Apenas os resultados foram transladados em tabelas para este trabalho.

Para o estudo algumas barras do sistema foram escolhidas. Para tanto escolhemos pontos (transformadores) nas imediações e na propriedade onde foi estudado o protótipo.

Como primeiro estudo, obtivemos pela execução do programa, as tensões nas barras escolhidas e as correntes em alguns trechos. Tais pontos estão indicados no diagrama da figura 2, anexo I. Os resultados estão na tabela 13.

Em segundo momento, executamos novamente o programa agregando dados da geração do protótipo e novamente calculamos as tensões e correntes nos mesmos pontos. Os resultados estão ilustrados na tabela 14.

Numa segunda simulação, repetimos os procedimentos realizados no software da concessionária, porem agora simulando em ATP (*Alternative Transient Program*). Agora consideramos como barra de referência ($V=34,5 \frac{\text{kV}}{\sqrt{3}}$) a primeira estrutura da rede monofásica após derivação da linha tronco. As duas situações simuladas: somente cargas e cargas e geração na barra onde foi instalado o protótipo, estão apresentadas nas tabelas 15 e 16.

Tais resultados nos mostram que a micro-geração distribuída, ao contrário do que se imagina, além de simples e de não demandar maiores

cuidados técnicos e de segurança, ainda contribui para melhorias sensíveis nas redes de distribuição rurais.

3.4.1 Simulações Realizadas no Software da Concessionária

Adiante está apresentado um diagrama simplificado do trecho de rede monofásica a partir da linha tronco trifásica, a qual atende a região onde foi implantado o protótipo.

A simulação foi realizada no software da concessionária REDE – CEMAT, que já possui incorporado o banco de dados de toda a rede e cargas existentes. Nessa condição simulou-se uma geração na barra onde está o protótipo, injetando a potência obtida das medições em campo.

- Primeira simulação: sem considerar geração

Tabela 13 – Simulação da linha, sem geração.

BARRA	TENSÃO NA BARRA	CORRENTE NO TRECHO	RESISTÊNCIA DO TRECHO	PERDA NO RAMO
0	19.704 v	1,02 A	6,6059 Ω	6,87 W
1	19.704 v	0,79 A	2,8071 Ω	1,75 W
2	19.706 v	0,43 A	2,6285 Ω	0,49 W
3	19.707 v	0,31 A	1,0911 Ω	0,10 W
4	19.707 v	0,27 A	1,5374 Ω	0,11 W
5	19.707 v	0,12 A	2,8264 Ω	0,04 W
6	19.707 v	0,11 A	2,0830 Ω	0,03 W
7	19.707 v	0,07 A	0,6348 Ω	0,003 W
8	19.707 v			9,39 W

- Segunda simulação: considerando geração.

Tabela 14 – Simulação da linha no protótipo com geração na barra 3.

BARRA	TENSÃO NA BARRA	CORRENTE NO TRECHO	RESISTÊNCIA DO TRECHO	PERDA NO RAMO
0	19708,17 v	0,93 A	6,6059 Ω	5,71 W
1	19715,31 v	0,79 A	2,8071 Ω	1,75 W
2	19717,02 v	0,34 A	2,6285 Ω	0,30 W
3	19718,13 v	0,31 A	1,0911 Ω	0,10 W
4	19720,22 v	0,15 A	1,5374 Ω	0,04 W
5	19720,22 v	0,13 A	2,8264 Ω	0,05 W
6	19720,36 v	0,08 A	2,0830 Ω	0,01W
7	19720,11 v	0,05 A	0,6348 Ω	0,001W
8	19720,05 v			7,96 W

Os resultados comparativos das tabelas 13 e 14 indicam redução de correntes e perdas e, apesar de se tratar de uma única geração de pequena magnitude e sem correção do fator de potência da máquina geradora.

3.4.2 Simulações Realizadas no ATP (*Alternative Transient Program*).

A seguir está apresentada uma simulação em ATP (*Alternative Transient Program*), com o circuito modelado com dados da rede de distribuição a partir da derivação da linha tronco trifásica. A figura 22 apresenta o circuito equivalente da rede de distribuição simulada. Os resultados desta simulação estão apresentados nas tabelas 15e 16.

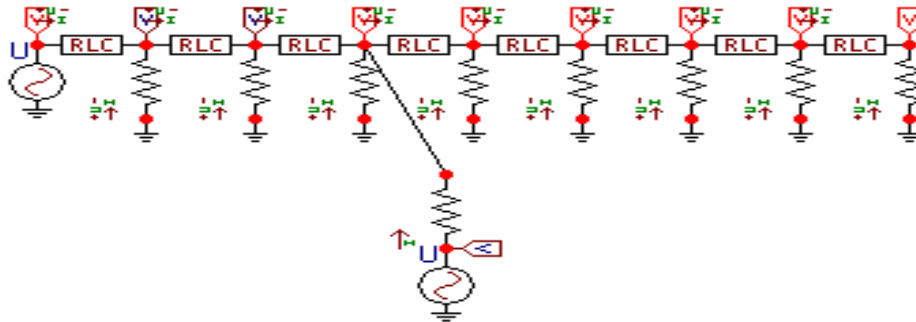


Figura 22. Circuito equivalente da rede de distribuição.

- Primeira simulação: sem considerar geração

Tabela 15 - Simulação da linha no ATP sem geração.

BARRA	TENSÃO BARRA (v)	CORRENTE NO TRECHO (A)	RESISTÊNCIA DO TRECHO (Ω)	PERDAS NO TRECHO (W)
0	19220			
1	19210	2,129	6,60	29,92
2	19200	1,839	2,80	9,47
3	19200	1,645	2,60	7,04
4	19200	1,355	1,00	1,84
5	19200	1,258	1,50	2,37
6	19190	0,774	2,80	1,68
7	19190	0,483	2,00	0,47
8	19190	0,290	0,63	0,05
				52,83

- Segunda simulação: considerando de 3,72 kW na barra 3

Tabela 16 - Simulação da linha no ATP com geração na barra 3.

BARRA	TENSÃO BARRA (v)	CORRENTE NO TRECHO (A)	RESISTÊNCIA DO TRECHO (Ω)	PERDAS NO TRECHO (W)
0	19220			
1	19210	1,783	6,60	20,98
2	19210	1,490	2,80	6,21
3	19200	1,299	2,60	4,38
4	19200	1,355	1,00	1,84
5	19200	1,258	1,50	2,37
6	19200	0,774	2,80	1,68
7	19200	0,483	2,00	0,47
8	19200	0,290	0,63	0,05
				37,98

A análise comparativa dos resultados mostrados nas tabelas 15 e 16, evidencia redução de correntes e conseqüentemente de perdas ôhmicas no trecho existente entre a linha tronco e a geração. Isso indica que, se forem implantadas diversas unidades de micro geração assíncrona com correção de reativo em diversos outros pontos do sistema, haverá redução substancial de perdas.

Outro aspecto que merece ser considerado relaciona-se com o desequilíbrio de tensão das redes tronco, em função do crescimento acentuado da geração distribuída (GD) monofásica. Essa questão deve, portanto, merecer atenção especial em decorrência dos impactos negativos que podem ser provocados nas redes de conexão [26].

3.4.3 Considerações Finais

O presente capítulo mostrou o desenvolvimento de protótipos, em laboratório e no campo, de micro centrais hidroelétricas com tecnologia assíncrona. Apresentou os dados de potencia gerada e tensão, obtidos em instalações reais. Apresentou ainda um estudo através de simulação digital onde, partindo dos dados coletados nos protótipos, simulou-se a presença de micro centrais assíncronas nos dados das redes de distribuição existentes nos locais onde foram ensaiados os protótipos, objetivando mostrar vantagens na redução de perdas e recuperação de tensão nessas redes com a implantação de micro centrais de geração distribuída.

No capítulo IV, a seguir, é apresentado um estudo de análise de questões técnicas e de custos para implantação de micro centrais hidroelétricas com tecnologia assíncrona.

Capítulo IV

ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTOS DA PROPOSTA

4.1 - Considerações Iniciais

Nesta etapa do trabalho apresenta-se um estudo de viabilidade técnica e econômica da proposta, considerando os custos de implantação e o tempo de retorno do investimento para a geração de energia a partir de diferentes níveis de vazões e quedas.

Buscando um sistema, de baixo custo de implantação, para operação em pequenas vazões e baixas quedas, que permita operação desassistida e que provoque muito baixo ou nenhum impacto ambiental, para compor uma proposta de micro geração distribuída, encontra-se no mercado nacional tecnologias disponíveis como a apresentada na figura 23 que segue:

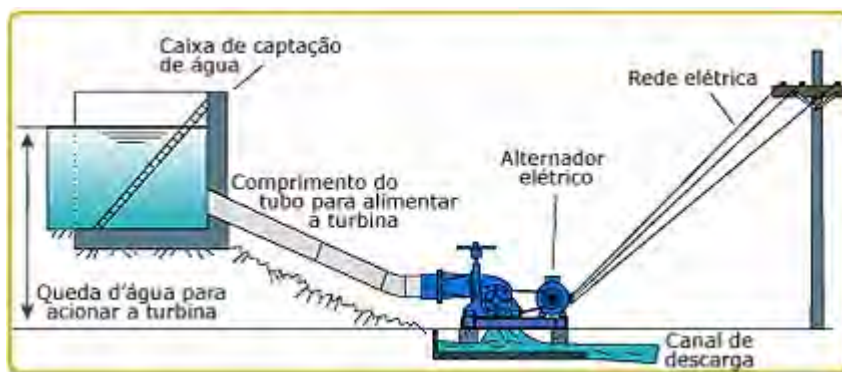


Figura 23 - Diagrama típico do sistema proposto.

Para executar a instalação, uma vez avaliado o manancial, necessita-se de obras de pequeno vulto: construção de uma caixa de coleta na parte alta do córrego, para coleta de água sem riscos de provocar erosões. A caixa é dotada de grelha para conter a entrada de galhos e demais sólidos que podem prejudicar o fluxo de entrada de água. Na parte mais baixa da queda, deve ser construída uma base de fixação do conjunto turbina – gerador. A base já contém canal de descarga necessário para proporcionar a sucção que complementa o desenvolvimento de potência do conjunto gerador e evita o efeito de cavitação por turbilhonamento. A máquina elétrica do diagrama acima deve ser substituída por uma máquina de indução de potência semelhante. Os dispositivos de controle: regulador de tensão, regulador de velocidade, excitatriz, etc., são dispensados. É de toda recomendada a construção de uma pequena casa de máquinas para abrigar o equipamento a fim de evitar exposição direta às intempéries, o que resultaria em redução da vida útil dos equipamentos.

A velocidade em rpm deve ser ajustada, por meio de jogos de polias e correia, para proporcionar escorregamento próximo de – 5% , ou seja, a 60 Hz e para máquina de quatro pólos, uma velocidade de operação de 1890 rpm.

O conjunto deve obrigatoriamente operar conectado à rede energizada da concessionária. Como elemento de conexão e proteção, basta um disjuntor termomagnético em caixa moldada com corrente nominal superior em 15 % a corrente nominal da máquina. As instalações elétricas são bastante simplificadas. Recomendável utilizar condutores de isolamento 0,6/1.0 kV abrigados em eletrodutos. É também importante que se providencie aterramento da carcaça da máquina geradora a fim de se evitar potenciais perigosos em caso de fugas. Como o ambiente é naturalmente úmido basta um sistema de aterramento simples composto de algumas hastes (geralmente seis), espaçadas entre si por 3,0 metros, sendo do tipo

aço cobreado, de 2.400 mm x 5/8”, interligadas por cordoalha de cobre nu, de 25 mm².

4.2 - Principais Características do Equipamento:

Foi considerado como modelo para análise de custos, equipamento de fabricação Betha Hidroturbinas, devido a sua disponibilidade no mercado. A seguir estão apresentadas suas principais características técnicas.

- **Turbina Hidráulica**, Tipo Michell Banki, fluxo cruzado e duplo efeito, controle de vazão acionamento Manual, polias e correias multiplicadoras de rotação;
 - . Regulação de vazão por perfil hidráulico, (fundido em ferro fundido nodular), apoiado sobre mancais em bronze, com lubrificação à graxa.
 - . Caixa de turbina fundida em ferro fundido cinzento.
 - . Rotor da Turbina tipo tambor, construção soldada, discos em aço carbono ASTM A 36 com eixo passante em aço trefilado SAE 1045 e pás estampadas em aço carbono ASTM A 36.
 - . O eixo do rotor da turbina é apoiado em rolamentos fixos de esferas, montados em mancais fundidos, fixados nas laterais da caixa da turbina.
- **Regulador automático de velocidade:** Dispensado do conjunto para geração assíncrona conectada diretamente à rede.
- **Painel de Controle:** Dispensado do conjunto para geração assíncrona conectada diretamente á rede.

- **Resistências elétricas para o lastro resistivo:** Dispensado do conjunto para geração assíncrona conectada diretamente à rede.

Na figura 24 está apresentado uma foto ilustrativa do equipamento.



Figura 24 - Foto ilustrativa do equipamento

O detalhe da caixa de coleta d'água está apresentado na figura 25 a seguir:

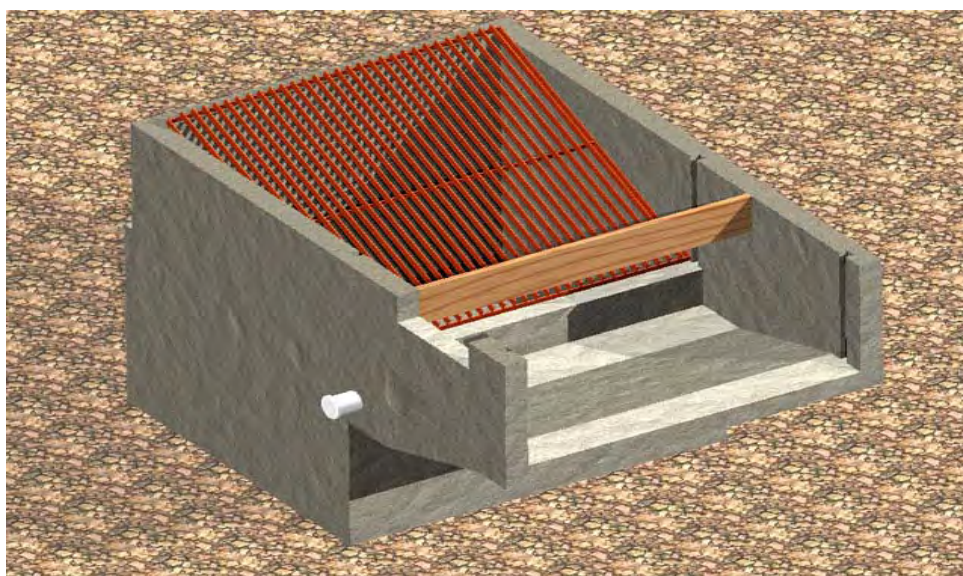


Figura 25 - Detalhe da Caixa de coleta d'água.

Pode-se reduzir substancialmente o investimento utilizando uma bomba centrífuga em lugar da turbina. Para tanto, recomenda-se adquirir uma bomba com dados nominais de vazão e altura manométrica ligeiramente superior aos valores do manancial disponível, pois nem sempre as bombas comerciais apresentam rendimento informado em catálogo, principalmente quando não operam exatamente sobre suas curvas. Mesmo levemente superdimensionada uma bomba é ainda muito menos onerosa que uma turbina hidráulica.

Aqui também o fato de utilizar tecnologia assíncrona permite a redução do investimento. Com tecnologia convencional baseada em gerador síncrono, operando em sistema isolado, faz-se obrigatória a regulação de velocidade para se garantir qualidade de tensão e frequência. Assim não se torna simples o uso de bombas em lugar de turbinas, pois se dificulta o controle de velocidade.

A figura 26 mostra exemplo de bomba centrífuga apropriada para operação como turbina.



Figura 26 – Bomba centrífuga para BFT.

A título de exemplificação, a tabela 17, a seguir, apresenta os dados característicos de uma turbina hidráulica: Queda líquida para acionar a turbina (em metros), a vazão (por litros/s), a potência no eixo da turbina (em cv) e a potência na saída para o gerador (em kW).

Tabela 17 – Dados Característicos de uma Turbina Hidráulica.

Turbina Hidráulica				
Queda Líquida para acionar a Turbina (metros)	Vazão (Litros/Seg)		Potência no eixo da Turbina (CV)	Potência na Saída do gerador (KVA)*
4,0	Máxima	26	0,9	0,6
	Mínima	18	0,6	0,4
5,0	Máxima	29	1,3	0,8
	Mínima	20	0,9	0,5
6,0	Máxima	32	1,7	1,0
	Mínima	22	1,1	0,7
7,0	Máxima	34	2,2	1,3
	Mínima	23	1,4	0,9
8,0	Máxima	37	2,6	1,6
	Mínima	25	1,8	1,0
9,0	Máxima	39	3,1	1,9
	Mínima	26	2,1	1,2
10,0	Máxima	41	3,7	2,3
	Mínima	28	2,5	1,5
11,0	Máxima	43	4,2	2,6
	Mínima	29	2,8	1,7
12,0	Máxima	45	4,8	3,0
	Mínima	31	3,2	1,9
13,0	Máxima	47	5,5	3,6
	Mínima	32	3,6	2,3
14,0	Máxima	49	6,1	4,0
	Mínima	33	4,1	2,6
15,0	Máxima	50	6,8	4,4
	Mínima	34	4,5	2,9
16,0	Máxima	52	7,5	4,9
	Mínima	35	5,0	3,2
18,0	Máxima	55	8,9	5,8
	Mínima	37	5,9	3,8
20,0	Máxima	58	10,4	6,8
	Mínima	39	6,9	4,4
22,0	Máxima	61	12,0	8,4
	Mínima	41	8,0	5,4
24,0	Máxima	64	13,7	9,5
	Mínima	43	9,1	6,2

* Valores aproximados.

*Potência calculada com base no rendimento de gerador informado pelo fabricante.

Fonte: Betha Hidroturbinas

4.3 - Estimativa de Custos de Implantação

Adiante está apresentado um estudo de custo de implantação de uma micro central hidroelétrica para produzir a quantidade de energia que foi obtida no protótipo da Fazenda D. Miquelina, considerando tecnologia e demais características construtivas norteadas na simplicidade, baixo custo de implantação e de manutenção, a fim de viabilizar a geração no campo.

Dados do manancial disponível

Altura de Queda: 8,5 metros

Vazão firme: 85 litros / segundo

Potência firme a ser gerada: 4,3 kVA = 3,80 kW

Energia firme a ser gerada por mês: 2.745 kWh (valor medido no protótipo)

Tabela 18 – Custo de construção de micro central 4 kW

Estudo de Custo de uma Micro Central Hidroelétrica					
			4 kW	220 vca	Assíncrona
Item	Especificação	Ud	Qt	Preço	Total
1.0	<u>Construção da caixa de coleta d'água</u>				
1.1	Tijolos maciços	ud	120	1,44	172,80
1.2	Areia lavada grossa	m3	1	40,00	40,00
1.3	Cimento	sc	3	11,00	33,00
1.4	Brita fina	m3	1	40,00	40,00
1.5	Impermeabilizante para agregar a massa	gl	1	36,00	36,00
1.6	Grade de ferro chato 1" x ¼"	vb	1	120,00	120,00
1.7	Mão de obra na construção da caixa	vb	1	450,00	450,00
	Custo total da caixa de captação				891,80
2.0	<u>Tubulação de queda</u>				
2.1	Tubo PVC branco primeira linha – 200 mm	br	2	160,00	320,00
2.2	Válvula esfera 200 mm	pç	1	212,00	212,00
2.3	Adaptador soldável para válvula esfera	pç	2	17,00	34,00

	200 mm				
2.4	Cotovelo 45 graus branco 200 mm	pç	2	17,25	34,50
2.5	Cola, lixa e demais insumos	vb	1	80,00	80,00
	Custo total da tubulação de queda				680,50
3.0	<u>Caixa de descarga e base do equipamento</u>				
3.1	Tijolos maciços	ud	50	1,44	72,00
3.2	Areia lavada grossa	m3	0,5	40,00	20,00
3.3	Cimento	sc	4	11,00	44,00
3.4	Brita fina	m3	0,5	40,00	20,00
3.5	Impermeabilizante para agregar a massa	gl	1	36,00	36,00
3.6	Mão de obra	vb	1	160,00	160,00
	Custo total da caixa de descarga				352,00
4.0	<u>Instalação do conjunto gerador</u>				
4.1	Parafuso chumbador 5/8" x 150 mm	ud	8	4,40	35,20
4.2	Porca e arruela galv. 5/8"	ud	8	0,12	0,96
4.3	Polia A1 para correia V	ud	2	35,00	70,00
4.4	Correia V comprimento adequado	ud	1	18,00	18,00
4.5	Mão de obra para instalação	vb	1	350,00	350,00
	Custo total da instalação mecânica				474,16
5.0	<u>Equipamentos</u>				
5.1	Turbina até 7,5 cv -	ud	1	11.220,00	11.220,00
5.2	Máquina assíncrona 4.0 Kw, 220 vca, 4 pólos.	ud	1	754,00	754,00
	Custo total de equipamentos				11.974,00
6.0	<u>Instalações elétricas</u>				
6.1	Cabo de cobre isolado 0,6/1.0 kv – 4 mm ²	m	100	6,00	600,00
6.2	Disjuntor	pç	1	63,00	63,00
6.3	Conectores diversos	vb	1	20,00	20,00
6.4	Fita isolante autofusão	rl	1	12,50	12,50
6.5	Aterramento	vb	1	50,00	50,00
6.6	Mão de obra	vb	1	350,00	350,00
	Custo total com instalações elétricas				1.095,50
	CUSTO TOTAL DE IMPLANTAÇÃO				15.467,96

Condições consideradas

- Local de instalação de fácil acesso,
- Existência de rede de distribuição rural monofásica com poste dotado de rede de baixa tensão até 50 metros do local de instalação.
- Disponibilidade de materiais e equipamentos para compra em local próximo.
- Custos por administração direta.
- Desconsiderados custos com projetos, licenciamentos etc.

4.4 - Cálculo do Retorno do Investimento

Aqui está apresentado um estudo da rentabilidade do empreendimento, considerando-se a quantidade de energia gerada medida no protótipo e projetando uma produção e comercialização mensal, frente ao investimento necessário para sua implantação.

Para tanto foi preciso lançar mão de uma tarifa hipotética para mensurar o valor de venda da energia pelo micro gerador, tendo em vista que não existe atualmente no modelo de comercialização de energia elétrica da legislação pertinente, a figura do micro gerador independente.

Considerações:

- Tarifa de R\$ 0,15 / kWh gerado,
- Capacidade de geração de 2.745 kWh / mês,
- Propriedade com consumo de 450 kWh / mês,
- Tarifa rural da concessionária de R\$ 0,21/ kWh
- Tarifa hipotética de venda rural = R\$ 0,15 / kWh

Daí o rendimento pode ser determinado na forma apresentada na tabela 19, a seguir:

Tabela 19 – Rentabilidade de uma micro central de 4 kW.

Geração para consumo próprio	450 kWh	R\$ 0,21	R\$ 94,50/mês
Geração de excedente	2.295 kWh	R\$ 0,15	R\$ 334,25/mês
Renda total			R\$ 428,75/ mês

Trata-se de um cálculo superficial, sem calcular juros, correção monetária ou depreciação. Assim o investimento teria retorno em aproximadamente 36 meses, o que faz do investimento um atraente negócio ao pequeno produtor rural, tendo em vista que as instalações terão vida útil acima de 20 anos, com baixo custo de manutenção com custo de operação nulo; o que produz um incremento de mais de um salário mínimo na renda da propriedade.

Devemos ressaltar que simulação acima considera uma queda de 8,5 metros com vazão de apenas 85 litros por segundo, o que representa um manancial pequeno. A realidade da região estudada apresenta riachos e córregos com capacidades muito maiores. Os custos de exploração crescem em menor proporção para maiores aproveitamentos, o que reduz mais ainda o tempo de retorno e a lucratividade. Se considerarmos potências entre 10 e 15 kW de demanda explorada, teremos receita mensal de R\$ 1.500,00 a R\$ 2.000,00, com investimentos estimados entre R\$ 30.000,00 a R\$ 45.000,00. As vantagens aumentam ainda mais se forem utilizadas bombas operando em lugar das turbinas, o que leva a redução de mais de 50 % no custo de implantação do sistema.

Além disso, devemos ressaltar que existem hoje diversas fontes de financiamentos para energia alternativa, energia renovável, racionalização de energia, etc., que podem ser canalizada para financiar o pequeno produtor rural para se transformar em micro produtor independente de energia elétrica.

Esses dados referentes à quantidade de energia gerada pela micro geração distribuída podem servir de argumento favorável frente aos inúmeros questionamentos hoje colocados no meio científico sobre possíveis impactos da geração distribuída aos sistemas operantes.

4.5 - Viabilidade Técnica da Utilização da Tecnologia Assíncrona para Geração Distribuída e Micro Geração Distribuída

Os debates acerca da implantação maciça da geração distribuída apontam para diversas dificuldades e impedimentos. Os principais deles dizem respeito à complexidade dos despachos de cargas e das operações de manobra, principalmente no que se refere à segurança do sistema de distribuição no que tange a necessários desligamentos para manutenção, quer programada ou de emergência.

Tais limitações realmente se apresentam como fatores reais e até impeditivos da geração distribuída quando se pensa na tecnologia convencional existente no mercado, composta de turbinas hidráulicas impulsionando geradores síncronos auto-excitados. É fato que uma micro-usina com tecnologia síncrona requer diversos cuidados para operação em paralelo com os sistemas de distribuição das concessionárias. Elas, gerando no sistema, são fontes e como tal, sempre que se necessitar desligamento do trecho da rede em que se encontram instaladas, precisam ser desconectadas ou isoladas a fim de se garantir a inexistência de potencial nas redes em manutenção. Toda vez que forem desconectadas deverão

passar por manobra de sincronismo para novamente entrar em operação. Manobra de certa complexidade. Isso posto fica claro que necessitam impreterivelmente a permanência de operador treinado.

Além da necessidade de operador para cada unidade de geração, tal complexidade exige grandes cuidados também por parte da operação de despachos das redes de distribuição. Será necessário coordenar todas as manobras de desligamento e religamento de cada unidade. O sistema de comunicação também é de se imaginar demandará maiores cuidados.

Tudo isso se faz concluir facilmente que fica inviável técnica e economicamente se pensar em implantação de micro geração distribuída composta de pequenas e numerosas centrais com a utilização da tecnologia síncrona.

Por outro lado, quando se analisa a situação sob a ótica da utilização de centrais hidroelétricas, ou de qualquer outra forma de aproveitamento de pequenos potenciais de produção de energia, com a utilização da tecnologia assíncrona, tais barreiras se tornam contornáveis.

As máquinas assíncronas, para gerar energia somente precisam ser acionadas a velocidade superior a velocidade de seu campo girante produzido por magnetização oriunda da própria rede de distribuição a qual está conectada. Este detalhe, “magnetização produzida pela rede” torna a máquina segura do ponto de vista da operação em paralelo com o sistema da concessionária. Sempre que a rede, ou trecho de rede, a qual está conectada for desligado, a máquina assíncrona deixará de gerar potencial elétrico. Da mesma forma, ao ser religada a rede a mesma volta a gerar sem necessidade de manobra de sincronismo.

Essa tecnologia nos permite conceber um sistema de geração distribuída que chamamos de “micro geração distribuída”, composto de diversas, muito pequenas, unidades de geração ligadas às redes de distribuição. Unidades essas para aproveitamento hidráulico de pequenos

mananciais existente em abundância nas pequenas propriedades rurais espalhadas pelo país. Destinando-se a gerar potências da ordem de 1 a 10 kVA, ou pouco maiores. Unidades de implantação bastante simplificada, de baixo impacto ambiental, utilizando equipamentos disponíveis no mercado. Poderia ser implantada sem necessidade de qualquer reforço de sistema ou qualquer implementação de controles ou maiores complexidades. A possibilidade do uso de bombas funcionando como turbina, para essa faixa de carga, torna tais instalações ainda mais viáveis.

4.6 - A Micro Geração Distribuída como Forma de Geração de Renda Complementar para o Pequeno Produtor Rural

A micro geração distribuída proposta neste trabalho se destina a instalação em pequenas propriedades rurais, assentamentos, locais atendidos por programas da agricultura familiar e que já contam com distribuição de energia elétrica rural. Destinar-se principalmente a produzir complemento de renda no campo.

Propriedades que, possuindo pequenas quedas d'água, por meio de financiamentos hoje disponíveis nos programas relativos a fomento da utilização das fontes alternativas renováveis de energia, e outros programas, podem implantar pequenas centrais de geração com máquina assíncrona que produzirão a energia de seu consumo e alguma sobra, que poderia facilmente ser comercializada com a concessionária, gerando assim a complementação de produção da terra.

Para implantação das unidades nas propriedades existe hoje disponível no mercado tecnologia, com necessidade apenas de transformação das unidades de síncrona para assíncrona, o que é de todo

viável aos fabricantes de equipamentos. Existe ainda a estrutura necessária de profissionais instaladores e empresas, haja vista que o programa “Luz para todos” do governo federal, ainda se encontra mobilizado e atuando. A necessidade de estrutura física e de pessoal não é diferente.

O sistema de micro geração proposto neste trabalho é baseado em unidades de geração assíncronas, monofásicas, de potência, tensão e demais características técnicas absolutamente compatíveis com os sistemas elétricos instalados na eletrificação rural.

Os procedimentos de leitura e emissão de fatura podem ser exatamente os mesmos hoje implantados na comercialização de energia rural. Apenas sendo necessárias pequenas adaptações nos softwares das companhias de maneira a permitir faturas binárias que hoje podem ser pagas em qualquer ponto do sistema financeiro, inclusive em casas de loterias. O sistema binário, com dois sentidos de fluxo financeiro, permite que o pequeno produtor possa pagar ou receber sua fatura, somente dependendo de quanto sua propriedade consumiu e quanto sua unidade gerou para existir no período.

Apresentamos no anexo II um modelo de contrato adotado atualmente na compra e venda de energia elétrica. O objetivo é exemplificar a complexidade técnica e jurídica que envolve os aspectos legais da comercialização de energia.

Este trabalho propõe a extrema simplificação desta relação comercial para a “micro-geração assíncrona rural”. Propõe que toda a prática contratual se resuma a uma autorização por parte da concessionária local para que seja conectada a micro-geração à rede rural. Os procedimentos de leitura permanecem inalterados. A única alteração necessária é no software de geração da fatura de energia elétrica a ser apresentada ao produtor rural de forma que a mesma possa ser “a receber” pela energia gerada, nos

mesmos locais e na mesma forma que a energia “a pagar” dos consumidores rurais não geradores.

A micro geração distribuída com tecnologia assíncrona não necessita da formalidade das relações de comercialização regulamentadas. Como está proposta, não difere em nada da relação concessionária x consumidor rural. A única diferença é a existência de uma fatura com fluxo financeiro possível em dois sentidos. A geração em si não se difere das instalações rurais de um consumidor atual. A máquina geradora assíncrona não se comporta diferentemente, por exemplo, de um motor de um triturador instalado no campo. Apenas o fluxo da energia tem sentido contrário. Todas as demais condições como correntes, tensões, aspectos de segurança, etc., permanecem o mesmo das instalações de carga.

Para tanto não há porque se imaginar necessidade de relações contratuais e demais formalidades legais e jurídicas para tal relação comercial. Apenas uma autorização de ligação e o devido registro nos moldes de uma ligação de consumo, com acréscimo da informação da condição de “possível” gerador. Naturalmente devendo existir um limite em potência para configurar a instalação do produtor rural como “micro-gerador assíncrono”. Tal limite pode ser o mesmo existente hoje para as diversas categorias de consumidores rurais definido pela potência do transformador da propriedade.

A figura 27 ilustra um transformador monofásico de distribuição rural.



Figura 27 – Transformador monofásico de distribuição rural.

4.7 - Estudo de Custos de Implantação Comparando uso das Tecnologias Síncrona e Assíncrona na Micro-Geração Distribuída

Aqui apresentamos um estudo de custos e investimentos para implantação de micro-usinas, comparando as tecnologias: síncrona tradicional operando isolada do sistema e assíncrona monofásica operando em paralelo com a rede de distribuição rural, sem correção do fator de potência.

4.7.1 - Custos para instalação de micro-usina de até 2,0 kW

Tabela 20 – Custo comparativo para micro central de 2 kW.

Estudo Comparativo de Custos de Implantação		2 kW	
Item	Obras e Serviços	Síncrona	Assíncrona
1.0	Casa de máquinas	2.500,00	400,00
1.1	Tubulação de queda e válvula	1.450,00	1.450,00
1.2	Caixa de coleta	950,00	950,00
1.3	Caixa de descarga	400,00	400,00
	Equipamentos		
	Gerador	2.250,00	800,00
	Turbina, base e acoplamento	7.200,00	7.200,00
	Idem c/ bomba como turbina	(*)	3.000,00
	Regulador de velocidade	4.800,00	0,00
	Regulador de tensão	1.800,00	0,00
	Painel de controle e proteção	1.300,00	120,00
	Dispositivos para sincronismo	800,00	0,00
	Total	23.450,00	11.320,00
	Total com bomba como turbina		7.320,00

4.7.2 Custos para instalação de micro-usina de 5,0 kW

Tabela 21 – Custo comparativo para micro central de 5 kW.

Estudo Comparativo de Custos de Implantação		5 kW	
Item	Obras e Serviços	Síncrona	Assíncrona
1.0	Casa de máquinas	2.500,00	400,00
1.1	Tubulação de queda e válvula	1.600,00	1.600,00
1.2	Caixa de coleta	950,00	950,00
1.3	Caixa de descarga	400,00	400,00

2.0	Equipamentos		
2.1	Gerador	4.500,00	1.400,00
2.2	Turbina, base e acoplamento	25.200,00	17.000,00
2.3	Opção de bomba como turbina BFT	*****	4.500,00
2.4	Regulador de velocidade	11.000,00	0,00
2.5	Regulador de tensão	1.800,00	0,00
2.6	Excitatriz	1.200,00	0,00
2.7	Painel de controle e proteção	3.300,00	320,00
2.8	Dispositivos para sincronismo	800,00	0,00
	Total	53.250,00	22.070,00
	Total na opção BFT	53.250,00	9.570,00

(*) Obs. Na instalação com máquina síncrona não foi considerada a opção de operação de bomba como turbina.

Adiante está apresentada uma tabela resumo da comparação dos custos de implantação das tecnologias síncrona e assíncrona, tomando-se como referência o custo da usina assíncrona isolada.

Tabela 22 – Comparação percentual

Comparação dos Custos -		Valor Base	Síncrona
Potência 2 kW			
	Síncrona isolada com turbina	23.450,00	100,00%
	Assíncrona turbina	11.320,00	48,00%
	Assíncrona BFT	7.320,00	31,00%
Potência 5 kW			
	Síncrona isolada com turbina	53.250,00	100,00%
	Assíncrona turbina	22.070,00	41,00%
	Assíncrona BFT	9.570,00	18,00%

Os valores apresentados no estudo se referem à construção por administração direta, projeto simplificado para pequenos aproveitamentos, e utilização de tecnologia nacional disponível. Não foram considerados os custos com projetos técnicos e licenciamentos.

Também não foram considerados custos com transportes de materiais

O estudo considera manancial existente em propriedade já atendida por eletrificação rural servida por rede de distribuição monofásica com retorno pela terra.

Deve-se ressaltar que os preços acima apresentados consideram aquisição de turbinas hidráulicas. Mostrou-se a possibilidade, para as pequenas potências que nos referimos, da utilização de bombas centrífugas operando como turbinas. Isso reduz consideravelmente o investimento na máquina primária.

4.8 Considerações Finais

Este capítulo evidenciou os custos para construção de micro centrais para aproveitamento hidroelétrico objetivando mostrar que são viáveis de aproveitamento os pequenos potências quando explorados com tecnologia assíncrona.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

5.1 Conclusões Gerais

Este trabalho apresentou uma proposta para utilização da *Máquina de Indução* Micro Centrais Hidroelétricas (MCHs), em substituição às *Máquinas Síncronas*, representando uma alternativa economicamente viável e com menos impacto ambiental, para a geração de energia elétrica, combinando a geração convencional com a descentralizada, possibilitando, contornar uma série de problemas presentes no modelo convencional, além disso, possibilitando, dependendo do nível de consumo, geração de renda suplementar para pequenos proprietários, podendo ensejar grandes impactos de ordem social.

A tecnologia sugerida além de ser técnica e economicamente viável, possibilitando gerar energia para o sistema, pode contribuir para a melhoria da qualidade do mesmo, na medida em que proporcionará redução de corrente nas linhas e conseqüente redução de perdas para o sistema. Além disso, tendo em vista a influência direta na matriz de geração de energia elétrica, devido, entre outros aspectos, aos níveis da demanda de energia elétrica e respectiva capacidade instalada de geração do país, esta proposta é de aplicabilidade imediata. Vale aqui ressaltar, que a grande diferença em termos de viabilidade de implantação dessa tecnologia reside no fato de que os geradores de indução não produzem energia se não estiverem conectados a um sistema energizado, ou dotados de capacitores. Isso torna

a máquina absolutamente segura para operar na geração distribuída, uma vez que não se configura risco de operação paralela que produza energização indesejável durante desligamentos e ações de manutenção. Por outro lado, por se tratar de máquina de reativo fixo, e por estar distribuída em micro-unidades, dispensa qualquer preocupação com regulação e controle de despachos de cargas. Essas características dos geradores de indução vêm solucionar as principais dificuldades técnicas e operacionais da geração distribuída concebida com equipamento síncrono.

O trabalho apresentou os resultados obtidos em laboratório e no campo, em situação real, com base em protótipo estudado, os quais confirmam as hipóteses previamente levantadas para justificar a adoção dessa tecnologia. Um estudo de viabilidade técnica e econômica da proposta, considerando os custos de implantação e o tempo de retorno do investimento para a geração de energia a partir de diferentes níveis de vazões, foi desenvolvido neste estudo.

Foi realizada também simulação da usina piloto no sistema real da concessionária, ensaiando a instalação de diversas outras unidades de geração em propriedades vizinhas. Com tal simulação foi possível constatar os efeitos da potencia ativa injetada na ponta de um sistema precário como é o sistema de distribuição rural, avaliando, assim os impactos da micro-geração distribuída sobre o sistema distribuição rural.

5.2 Conclusão Final

A Micro Geração Distribuída Rural é viável por possibilitar a geração de quantidades de energia nas redes rurais próximo aos consumidores, reduzindo assim a corrente circulante nas linhas troncos e desta forma reduzindo perdas e recuperando tensão nas referidas redes.

Como sugestão para trabalhos futuros sugerimos analisar a micro geração distribuída rural com máquinas assíncronas, sob o ponto de vista da presença de capacitores nas máquinas, quer pela utilização também de seu enrolamento auxiliar para redução de oscilação de torque, quer pela utilização de capacitores para correção do fator de potência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Toismasquin, M. T., (organizador), Fontes Renováveis de Energia no Brasil, Editora Interciência, 2003.
- [2] CIRED, Working Group 4, “Dispersed Generation”, Final Report, Nice, France, 1999.
- [3] CIGRÉ, Working Group, “Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on Power System”, Final Report, Paris, France, 1999.
- [4] Akhmatov, V., Knudsen, H., Nielsen, A. H., Pedersen, J. K. e Poulsen, N. K., “ Modelling and transient stability of large winds farms”, International Journal on Electrical Power and Energy Systems, vol. 25, n. 1, 2003, pp. 123-144.
- [5] Belhomme, R., Plamondon, M., Nakra, H., Desrosiers, D. e Gagnon, C., “Case study on integration of a non-utility induction generator to the Hydro-Quebec distribution network”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, n. 3, July 1995.
- [6] McQuin, N. P., Willians, P. N. e Williamson, S., “Transient electrical and mechanical behavior of large induction generator innstallations’, in: 4th International Conference on Electrical Machines and Drives, Sep., London, UK, 1989, pp. 251 – 255.
- [7] Parsons, J. R., “Cogeneration application of induction generators”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 20, 1984.
- [8] Ribeiro, P., Ferreira, F., Medeiros, F., “Geração Distribuída e Impacto na Qualidade de Energia”, VI SBQEE, Belém – Pa, Brasil, Agosto, 2005, pp.781 –787.

- [9] Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., D'haeseleer, W., "Distributed generation: definition, benefits and issues", *Energy Policy*, vol. 33, Ed. ELSEVIER, Amsterdam, Netherlands, April, 2005, pp. 787 – 789,.
- [10] INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética, "Geração Distribuída – Um Negócio e um Complemento a Geração Descentralizada", Rio de Janeiro, Abril, 2004.
- [11] Hamilton, S. L., "Microturbine Generator Handbook", PennWell Corporation, 2003.
- [12] Vian, A., "A Geração Distribuída e as Redes de Distribuição", 2004.
Disponível em
http://www.inee.org.br/downloads/GD_2004/AVian_14_11_30.pps.
Acesso em 24 de junho de 2006.
- [13] Jenkins., N., Strbac., G., "Effects of Small embedded generation on Power Quality", *Issues in Power Quality*, IEE Colloquium on, 28 Nov 1995, pp. 6/1 – 6/4.
- [14] Thomas, C. G., "Embedded Generation: the Regulatory Angle", *Embeded Generation on Distribution Networks (Digest nº 1996/194)*, IEE Colloquium on the Impact of, 15 Oct. 1996, pp. 1/1 – 1/7.
- [15] Rogers, W. J. S., "Impact of Embedded Generation on Design, Operation and Protection of Distribution Networks", *Embeded Generation on Distribution Networks (Digest nº 1996/194)*, IEE Colloquium on the Impact of, 15 Oct. 1996, pp. 3/1 – 3/7.
- [16] Silva, J. B., "GD e a estabilidade Integrando GD a Rede – A Visão do Operador da Rede", VII Seminário de Geração Distribuída – INEE - Instituto Nacioal de Eficiência Energética, RJ, Setembro, 2004.
- [17] Brito, O., "O Novo Marco Regulatório e as Perspectivas da GD", INEE, 2004. Disponível em

http://www.inee.org.br/down_loads/GD_2004/Osorio%20_14_09_30.ppt. Acesso em 24 de junho de 2006.

- [18] Henderson, D. S., “Synchronous or Induction Generators? – The Choice for Small Scale Generation”, Opportunities and Advances in International Electric Power Generation Conference On, IEE, 18-28th March 1996.
- [19] Kuri, B., Li., F., “Distributed Generation Planning in the Deregulated Electricity Supply Industry”, Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE, 6 – 10 June, 2004, vol. 2, pp. 2085 – 2089.
- [20] Gonçalves, L. F., “Contribuições para o Estudo Teórico e Experimental de Sistema de Geração Distribuída”, Dissertação de Mestrado, UFRGS – 2004.
- [21] Jenkins, N., Strbac, G., “Impact of Embedded Generation on Distribution System Voltage Stability”, Voltage Collapse (Digest n° 1997/101), IEE Colloquium on, 24 April 1997, pp. 9/1 – 9/4
- [22] Driesen, J., Belmans, R., “Distributed Generation: Challenges and Possible Solutions”, Power Engineering Society General Meeting, 2006, IEEE, 18-22 June 2006, pp. 1 – 8.
- [23] Baker, P. Mello, P., R. W., “Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems . I. Radial Distribution Systems”, Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE, Seattle, WA, EUA, 2000, v.3, p.1645–1656.
- [24] Donnelly, M. K. et al., “Impacts of the Distributed Utility on Transmission System Stability”, IEEE Transactions on Power Systems, Portland, vol.11, 1996, pp.741 – 746.
- [25] Gomes, P. et al., “A influência de Produtores Independentes de Energia no Desempenho do Sistema Elétrico Brasileiro”, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 1999, pp. 1 – 7.

- [26] Trinkenreich, J., “Seminário Sobre Geração Distribuída”, Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em www.inee.org.br/down_loads/GD_2004/Trinkenreich_14_11_15 -. Acesso em 24 de junho de 2006.
- [27] Costa, P. M., Matos, M. A., “Loss Allocation in Distribution Networks with Embedded Generation”, Power systems, IEEE Transactions on, vol. 19, Issue 1, Feb. 2004, p. 384 – 389.
- [28] Trichakis, P. et al., “An Investigation of Voltage Unbalance in Low Voltage Distribution Networks with High Levels of SSEG”, Universities Power Engineering Conference, 2006. UPEC’06, Proceedings of the 41 st International, vol. 1., 6 – 8 Sept. 2006, pp. 182-186.

ANEXOS

ANEXO I

DIAGRAMA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA REGIÃO DO PROTÓTIPO: FAZENDA D.MIQUELINA

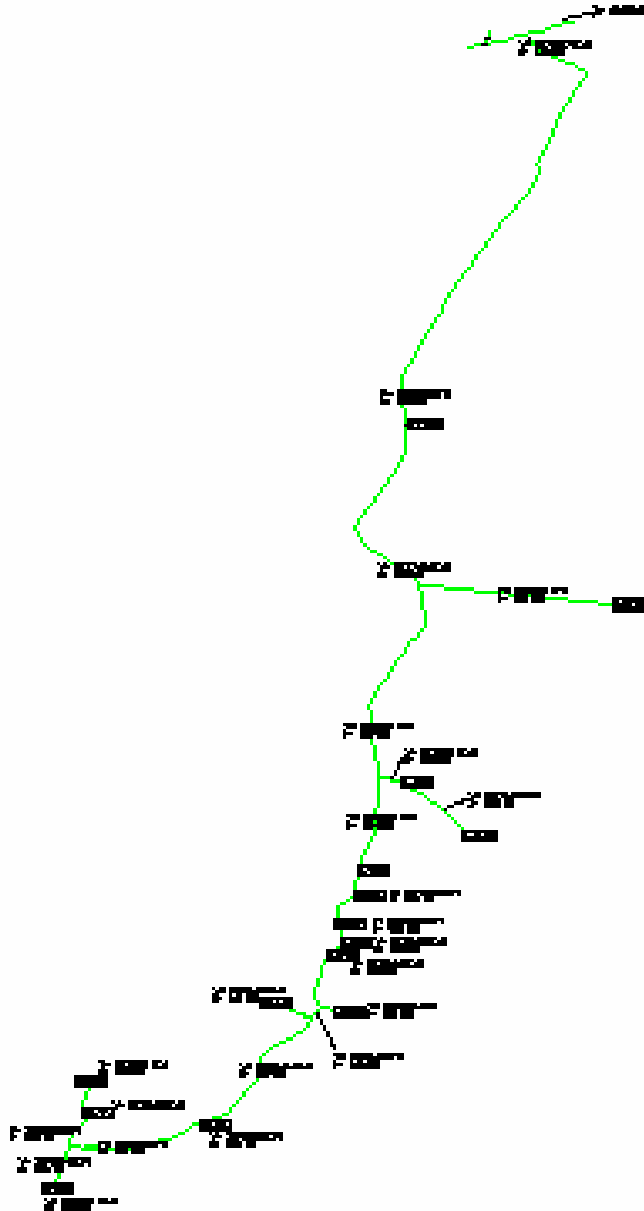


Fig 1- ANEXO I

CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA REGIÃO DO PROTÓTIPO – FAZENDA D. MIQUELINA

Linha MRT, classe 35 Kv
Cabo #2 - STARATE

Impedâncias:

$R_1 = 6,6059 \Omega$, $JX_1 = 2,7664 \Omega$
 $R_2 = 2,8071 \Omega$, $JX_2 = 1,1934 \Omega$
 $R_3 = 2,6285 \Omega$, $JX_3 = 1,1175 \Omega$
 $R_4 = 1,0911 \Omega$, $JX_4 = 0,4639 \Omega$
 $R_5 = 1,5374 \Omega$, $JX_5 = 0,6536 \Omega$
 $R_6 = 2,8260 \Omega$, $JX_6 = 1,2018 \Omega$
 $R_7 = 2,0830 \Omega$, $JX_7 = 0,8856 \Omega$
 $R_8 = 0,6348 \Omega$, $JX_8 = 0,2699 \Omega$

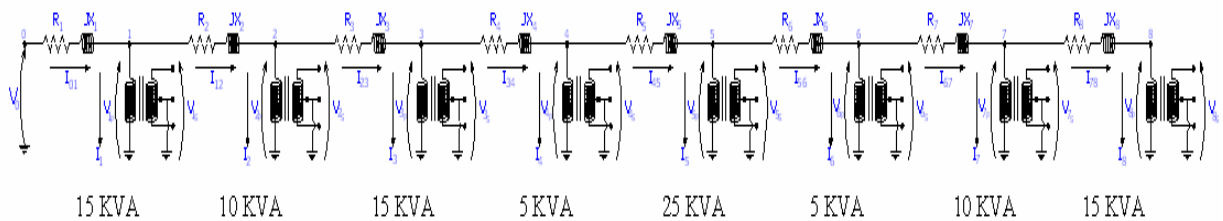


Fig 2 - ANEXO I

ANEXO II

MODELO DE CONTRATO DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

CONTRATO DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA

-----, sociedade -----, com sede na cidade de -----, Estado do -----, na Rua -----, -----, inscrita no CNPJ/MF sob o nº -----, neste ato representada na forma de seu Estatuto Social, por seus representantes legais ao final qualificados e assinados, doravante denominada simplesmente “VENDEDORA”; e

-----, concessionária de serviço público de distribuição de energia elétrica, com sede na -----, Estado -----, Rua -----, inscrita no CNPJ/MF sob o nº -----, neste ato representada na forma de seu Estatuto Social, por seus representantes legais ao final qualificados e assinados, denominada simplesmente “COMPRADORA”;

CONSIDERANDO QUE:

- (i) a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, regulamentada pelo Decreto nº 2.655, de 2, de julho de 1998, determinou, entre outras matérias, que dentro dos prazos previstos, as transações de compra e venda de energia elétrica devem ser livremente negociadas;
- (ii) a VENDEDORA é Produtor Independente de energia elétrica e através das resolução ANEEL nº -- de -----de 200- recebeu a autorização para construir e explorar a geração de energia elétrica e fornecerá Energia Elétrica no Estado do -----;
- (iii) a COMPRADORA realizou uma Chamada Pública para Compra de Energia Elétrica, realizada no período de -- a --- de ----- de 200- à qual a VENDEDORA se apresentou como candidata para o suprimento de energia e foi a vencedora; e

- (iv) a COMPRADORA é Distribuidora de energia elétrica nas suas respectivas áreas de concessão e participa do Sistema Interligado Nacional - SIN, atendendo inclusive áreas isoladas, podendo fornecer energia elétrica a clientes dentro e fora de sua área de concessão;
- (v) A VENDEDORA e a COMPRADORA manterão adequada esta relação contratual à regulamentação da ANEEL e às Regras da CCEE.

As Partes resolvem celebrar o presente Contrato de Compra e Venda de Energia Elétrica (“Contrato”), que se regerá pelas seguintes cláusulas e condições:

TÍTULO I - DAS DEFINIÇÕES

CLÁUSULA PRIMEIRA

Para o efeito de permitir o perfeito entendimento e precisão da terminologia técnica empregada neste Contrato, fica desde já acordado, entre a VENDEDORA e a COMPRADORA o conceito dos seguintes vocábulos e expressões:

- a) “Acordo de Mercado”: Contrato multilateral firmado por todos os agentes da CCEE e que estabelece o seu funcionamento, nos termos da regulação aplicável;
- b) “Agente da Vendedora”: Toda a empresa detentora de concessão, autorização ou permissão de geração, comercialização, importação, exportação e consumidores livres que assinem o Acordo de Mercado;
- c) “ANEEL”: Agência Nacional de Energia Elétrica, autarquia sob regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, com sede no Distrito Federal, criada pela Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que tem finalidade, mediar e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- d) “CCEE”: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, criada pela Lei 10.848, de 15 de março de 2004, e regulada pelo Decreto nº 5.177, de 12 de agosto de 2004;
- e) “Centro de Gravidade”: Ponto virtual em um submercado específico do sistema elétrico interligado, onde a energia comercializada será entregue

de forma simbólica e onde será contabilizada e liquidada, de acordo com as Regras da CCEE;

- f) "Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição - CCD": Contrato que estabelece os termos e condições que regulam a operação e a conexão das instalações elétricas da VENDEDORA ao sistema da distribuição da concessionária de distribuição de energia elétrica, responsável pela conexão física com a VENDEDORA, bem como seus correspondentes direitos e deveres conforme estabelece a legislação aplicável;
- g) "Contrato de Uso do Sistema de Distribuição - CUSD": Contrato que regula o uso dos sistemas de transmissão e distribuição da concessionária de distribuição de energia elétrica, responsável pela conexão física com a VENDEDORA, bem como seus correspondentes direitos e deveres, conforme estabelece a legislação aplicável;
- h) "Índice Geral de Preços do Mercado – IGP-M": Divulgado pela Fundação Getúlio Vargas. Caso seja extinto ou deixe de ser divulgado, o IGP-M será substituído pelo índice que for criado ou formalmente designado em substituição ao mesmo, com definição equivalente;
- i) "Distribuidora": Empresa Concessionária de Distribuição de Energia Elétrica em cuja área de concessão está localizada a usina da VENDEDORA;
- j) "Energia Elétrica": Grandeza definida como Wh (Watt-hora) ou seus múltiplos;
- k) "Energia Elétrica Contratada": Quantidade total de energia elétrica que a VENDEDORA se obriga a fornecer à COMPRADORA nos termos deste Contrato, especialmente Cláusula Quarta;
- l) "Energia Elétrica Medida": Energia Elétrica efetivamente consumida pela COMPRADORA e medida no Ponto de Medição;
- m) "MW": Significa megawatt;
- n) "MWh": Significa megawatt-hora;
- o) "MWmédios": Significa megawatt-hora dividido por um período de tempo considerado.
- p) "Nota Fiscal/Fatura de Energia": Documento emitido e enviado pela VENDEDORA à COMPRADORA, que apresenta a quantia total que deve ser paga pela venda de energia elétrica, referente a um período especificado, discriminando as parcelas correspondentes;

- q) “Notificação de Controvérsia”: Correspondência enviada de uma Parte a outra, informando da existência de controvérsia;
- r) “ONS”: Operador Nacional do Sistema Elétrico, sociedade jurídica de direito privado, instituída pela Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998 e regulamentado pelo Decreto nº 2.655/98 e legislação posterior, responsável pelas atividades de coordenação e controle da operação e da transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional - SIN;
- s) “Operação Integrada”: Operação do aproveitamento hidrelétrico no âmbito do Sistema Interligado Nacional - SIN que busca assegurar a otimização dos recursos eletroenergéticos existentes e futuros, segundo objetivo definido pela legislação vigente e conforme as regras operativas definidas pelo ONS e aprovadas pela ANEEL;
- t) “Partes”: A VENDEDORA e a COMPRADORA, quando referidas em conjunto, e Parte, quando referidas individualmente;
- u) “PCH”: Pequena Central Hidrelétrica, conforme definido na legislação específica;
- v) “Período de Apuração”: Significa o menor intervalo temporal de apuração e contabilização de energia elétrica comercializada entre os agentes da CCEE, determinando a situação de cada agente como credor ou devedor da CCEE, conforme estabelecido nas Regras da CCEE;
- w) “Ponto de Conexão”: Ponto do sistema elétrico onde a VENDEDORA se conecta à rede de distribuição correspondente ao barramento de -----
-kV na subestação ----- – 138 kV, de propriedade da Distribuidora;
- x) “Ponto de Entrega”: Centro de Gravidade do Submercado Sudeste e Centro Oeste no qual a Energia Elétrica Contratada será entregue pela VENDEDORA à COMPRADORA mediante entrega simbólica, para fins de contabilização;
- y) “Ponto de Medição”: Barramento ou subestação onde estão localizados os equipamentos de medição da VENDEDORA;
- z) “Potência”: Grandeza definida como Watt (W) e seus múltiplos.
- aa) “Potência Associada” – Montante de Potência a ser associada a Energia Elétrica Contratada como lastro de Potência;
- bb) “Prazo de Vigência”: Significa o período de fornecimento, como definido na Cláusula Terceira;

- cc) “Preço”: Preço em R\$/MWh da Energia Elétrica Contratada, praticado durante a vigência do presente Contrato, conforme definido na Cláusula Nona.
- dd) “Rede Básica”: O conjunto das conexões e instalações de transmissão de energia elétrica integrantes do Sistema Interligado Nacional - SIN, relacionadas no anexo da Resolução ANEEL nº 166, 31 de maio de 2000 e as que vierem a ser incluídas a qualquer tempo ou declaradas como tal pela ANEEL;
- ee) “Regras da CCEE”: Regras que definem as condições em que se realizam as transações comerciais no âmbito da CCEE;
- ff) “Sazonalização”: Processo através do qual a Energia Elétrica Contratada e a Potência Associada são distribuídas em montantes mensais. Este processo é realizado anualmente, conforme disposto na Cláusula Quinta deste Contrato;
- gg) “Sinercom”: Sistema de programas computacionais que possibilita o envio e recebimento de informações relativas às medições e ofertas de energia elétrica de cada agente da CCEE, precificação, contratação, contabilização, pré-faturamento, liquidação financeira, bem como quaisquer outras operações financeiras no âmbito da CCEE;
- hh) “Sistema Interligado Nacional - SIN”: Conjunto de instalações de geração, de transmissão e de distribuição responsáveis pelo suprimento de energia elétrica a todas as regiões do país eletricamente interligadas;
- ii) “Submercado”: Subdivisões do Sistema Interligado Nacional - SIN, correspondentes à áreas de mercado para as quais a CCEE estabelece preços de energia elétrica diferenciados;
- jj) “Tarifa de Uso”: Valor a ser pago pela VENDEDORA à Distribuidora, para conectar a usina à rede da Distribuidora;
- kk) “Transmissão Associada”: O conjunto de instalações destinadas ao transporte da energia elétrica desde o local da geração até o Ponto de Conexão com a Distribuidora;
- ll) “Valor Mensal da Energia Elétrica Contratada”: Significa o valor mensal a ser pago pela COMPRADORA à VENDEDORA, conforme estabelecido na Cláusula Nona deste Contrato;
- mm) “Valor Anual de Referência” – Preço de Energia Elétrica a ser repassado ao consumidor final da COMPRADORA, conforme definido no Decreto nº 5163, de 30 de julho de 2004.

**TÍTULO II - DO OBJETO DO CONTRATO, DO PRAZO DE VIGÊNCIA,
DA MODALIDADE E DAS CONDIÇÕES DE
FORNECIMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA, DO
PREÇO E DO REAJUSTE, DAS CONDIÇÕES DE
FATURAMENTO E PAGAMENTO**

CAPÍTULO I - DO OBJETO DO CONTRATO

CLÁUSULA SEGUNDA

O presente Contrato tem por objeto a compra pela COMPRADORA e a venda pela VENDEDORA da Energia Elétrica Contratada a ser disponibilizada por esta no Ponto de Entrega, bem como estabelecer os termos, preço e outras condições da compra e venda da Energia Elétrica Contratada.

CAPÍTULO II - DO PRAZO DE VIGÊNCIA

CLÁUSULA TERCEIRA

O presente Contrato deverá vigorar a partir da data de sua assinatura e permanecerá em vigor até a data em que todas as suas obrigações tenham sido cumpridas. O período de fornecimento da Energia Elétrica Contratada será a partir das 00h00m do dia -- de ----- de 200- e termina às 24h00min do dia -- de ----- de 20--.

**CAPÍTULO III - DA MODALIDADE E DAS CONDIÇÕES DE
FORNECIMENTO DA ENERGIA**

CLÁUSULA QUARTA

Observado o disposto no Parágrafo Primeiro e Parágrafo Segundo desta Cláusula, a COMPRADORA contrata com a VENDEDORA, a partir da assinatura deste Contrato, o fornecimento do montante anual de Energia

Elétrica Contratada, a ser disponibilizado no Ponto de Entrega, conforme disposto na Cláusula Quinta abaixo.

Parágrafo Primeiro – Ocorrendo a redefinição da Energia Elétrica ou Potência da PCH ----- autorizada pela ANEEL, durante o Prazo de Vigência deste Contrato, os novos montantes da Energia Elétrica Contratada poderão ser ajustados proporcionalmente à nova Energia Elétrica ou potencia autorizada, se for do interesse das Partes.

Parágrafo Segundo - As Partes reconhecem, e concordam, que os termos e condições estabelecidos neste Contrato se fundamentam nos preceitos e limites pactuados entre a VENDEDORA e o Poder Concedente, através da Resolução ANEEL nº --- de -- de ----- de 200- e do Contrato de Concessão nº ----- – ANEEL firmado entre Poder Concedente e a COMPRADORA, e nos instrumentos legais, institucionais e regulatórios vigentes nesta data, associados à geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, e nas modificações que lhes sobrevierem após a celebração deste Contrato, respeitados os princípios, direitos e deveres vinculados ao Contrato de Concessão, bem como o direito adquirido à existência deste Contrato.

CLÁUSULA QUINTA

A Energia Elétrica Contratada corresponderá ao montante de --,-- MW médios, a ser sazonalizada e modulado de acordo com o especificado neste Contrato.

Parágrafo Primeiro - Para o cumprimento do objeto deste Contrato durante o Prazo de Vigência, a VENDEDORA informará à COMPRADORA, até o último dia útil do mês de novembro de cada ano, através do formulário constante no Anexo I, os montantes mensais da Energia Elétrica Contratada e a Potência Associada a ser sazonalizada para o ano seguinte.

Parágrafo Segundo – A VENDEDORA registrará, no Sinercom, o montante mensal sazonalizado da Energia Elétrica Contratada, e a COMPRADORA validará os respectivos registros feitos pela VENDEDORA, desde que tais registros estejam compatíveis com o disposto neste Contrato.

Parágrafo Terceiro – A VENDEDORA registrará mensalmente no Sinercom, o volume de Energia Elétrica Contratada sazonalizada, modulada nos termos da Cláusula Sexta, nos prazos requeridos pelas

Regras da CCEE. A COMPRADORA confirmará o registro da Energia Elétrica Contratada, desde que tal registro tenha sido efetuado de acordo com o disposto na Cláusula Sexta, no prazo definido pelas Regras da CCEE.

Parágrafo Quarto – De comum acordo entre as Partes, os registros junto ao Sinercom, referidos nesta Cláusula, serão efetuados pela COMPRADORA, se outra pessoa não for designada por escrito pela VENDEDORA, com a antecedência necessária.

Parágrafo Quinto - Caso ocorram alterações nas Regras da CCEE em relação à forma de registro dos contratos bilaterais no Sinercom, bem como decisões oriundas da CCEE, estas se aplicarão a este Contrato em sua totalidade, sendo que a responsabilidade de registro e aceite de contrato bilateral no Sinercom será determinada de acordo com o que for estabelecido em tais procedimentos.

Parágrafo Sexto - A VENDEDORA arcará com todas as perdas até o Centro de Gravidade, se assim for determinado pela legislação específica, onde será considerada entregue a Energia Elétrica Contratada.

Parágrafo Sétimo – Caso a COMPRADORA seja a representante da VENDEDORA na CCEE, de acordo com o Parágrafo Terceiro desta Cláusula, todos os custos e encargos pagos pela COMPRADORA proveniente das operações feitas em nome da VENDEDORA serão descontados da fatura a ser paga à VENDEDORA.

CLÁUSULA SEXTA

A COMPRADORA terá direito, em conformidade com os Procedimentos de Mercado referentes a este tema, à modulação para cada período de comercialização de cada mês contratual, sendo que esta modulação preservará a quantidade total de Energia Elétrica Contratada no mês contratual, após a sazonalização.

Parágrafo Único – A Potência Associada a Energia Elétrica objeto deste Contrato, deverá corresponder a um fator de capacidade de 0,5 (cinco décimos). A Potência Associada será obtido pela divisão dos MW médios mensais pelo fator de capacidade.

CLÁUSULA SÉTIMA

A VENDEDORA não assume qualquer responsabilidade pela continuidade e pela qualidade da Energia Elétrica a ser recebida pela COMPRADORA nos pontos de consumo da COMPRADORA, bem como por eventuais prejuízos ocasionados à COMPRADORA ou reclamados por esta e/ou terceiros, mesmo que atribuíveis a interrupções, variações e/ou perturbações no suprimento de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN, exceto se a VENDEDORA for causadora ou tiver contribuído para queda da qualidade da Energia Elétrica, para quaisquer interrupções, variações e/ou perturbações no suprimento de energia elétrica.

CLÁUSULA OITAVA

A COMPRADORA e a VENDEDORA reconhecem e aceitam a existência de um Sistema Interligado Nacional - SIN e, assim, se submetem às suas vicissitudes e características, às ações de controle do ONS, às Resoluções da ANEEL, às normas e regulamentos que ora existem e os que venham a ser editados pelo Poder Concedente, bem como às leis de regência atuais do Sistema Interligado Nacional – SIN e as que venham a ser promulgadas.

Parágrafo Único - A VENDEDORA compromete-se ao fornecimento previsto neste Contrato utilizando-se de energia elétrica de geração própria e em observância às normas legais, regulamentares e procedimentais e às condições de operação do Sistema Interligado Nacional - SIN, atuais e que lhes sucederem.

CAPÍTULO IV. DO PREÇO E DO REAJUSTE

CLÁUSULA NONA

Por Valor Mensal da Energia Elétrica Contratada fica definido como os megawatt-hora disponibilizados pela VENDEDORA à COMPRADORA no Ponto de Entrega, em cada mês do Prazo de Vigência, correspondente ao montante definido na Cláusula Quinta, observado o Parágrafo Segundo desta Cláusula, multiplicado pelo Preço contratual definido no Parágrafo Primeiro desta Cláusula.

Parágrafo Primeiro - O Preço contratual da Energia Elétrica Contratada é de -----R\$/MWh (cento e vinte reais por megawatt-hora) ou o Valor Anual de Referência, o que for menor.

Parágrafo Segundo – O Preço indicado no Parágrafo Primeiro desta Cláusula está referido a data base de ---- de -----de 200-.

Parágrafo Terceiro – Durante a vigência do presente Contrato, o fornecimento de Energia Elétrica excedente ao montante de Energia Elétrica Contratada, como indicado na Cláusula Quinta, será faturada pela VENDEDORA ao Preço contratual.

Parágrafo Quarto - A COMPRADORA fica obrigada a pagar à VENDEDORA pela Energia Elétrica Contratada em base mensal, conforme montantes resultantes das Cláusulas Quarta, Quinta e Sexta e disponibilizados para a COMPRADORA no Ponto de Entrega, independentemente do consumo verificado na área de concessão da COMPRADORA.

Parágrafo Quinto– O Preço definido no Parágrafo Primeiro será submetido à ANEEL para aprovação. Caso a ANEEL não autorize o repasse do preço pactuado para as tarifas da COMPRADORA, as Partes se comprometem a assinar aditivo ao presente Contrato de modo a ajustar o Preço ao valor aprovado para o repasse.

Parágrafo Sexto – O Preço definido no Parágrafo Primeiro desta Cláusula será atualizado da data base até o dia 07 de abril de 200- e a partir desta data a cada 12 (doze) meses de acordo com a variação do IGP-M.

CAPÍTULO V - DAS CONDIÇÕES DE FATURAMENTO E PAGAMENTO

CLÁUSULA DÉCIMA

A fatura mensal referente à Energia Elétrica Contratada e disponibilizada pela VENDEDORA à COMPRADORA em cada mês do Contrato será emitida e encaminhada pela VENDEDORA à COMPRADORA com antecedência mínima de 5 (cinco) dias úteis antes do vencimento que será no dia 20 (vinte) do mês subsequente ao suprimento da Energia Elétrica Contratada.

Parágrafo Primeiro – Observados eventuais descontos previstos neste Contrato, a fatura a ser emitida pela VENDEDORA deverá corresponder ao montante de megawatt-hora disponibilizados e registrados pela VENDEDORA à COMPRADORA no Ponto de Entrega, em cada mês do Prazo de Vigência multiplicado pelo Preço contratual.

Parágrafo Segundo - O pagamento da fatura mencionada no *caput* desta Cláusula deverá ser feito mediante depósito efetuado pela COMPRADORA a crédito da conta corrente bancária de titularidade da VENDEDORA a ser indicada por escrito.

Parágrafo Terceiro - A fatura mensal não paga no vencimento será corrigida monetariamente com base no IGP-M, acrescida de juros de mora de 1% (um por cento) ao mês, calculados *pro rata die* e o valor resultante acrescido de multa de 2% (dois por cento).

CLÁUSULA DÉCIMA PRIMEIRA

Caso a COMPRADORA não efetue o pagamento da fatura mensal na data do respectivo vencimento por 3 (três) vezes em período de 12 (doze) meses, a VENDEDORA se reserva o direito de acionar as garantias de pagamento, conforme estabelecido na Cláusula Décima Terceira e/ou se reserva o direito de rescindir este Contrato conforme estabelecido na Cláusula Décima Sexta.

CLÁUSULA DÉCIMA SEGUNDA

O preço previsto na Cláusula Nona é líquido de quaisquer tributos (exceto o imposto sobre a renda e outros tributos pertencentes à VENDEDORA, CPMF, PIS, COFINS, ou sobre outros fatos geradores que não a venda de energia elétrica objeto do presente Contrato) e levaram em consideração os encargos setoriais incidentes sobre o fornecimento de energia elétrica, tal como vigentes na data de assinatura deste Contrato.

TÍTULO III - DA GARANTIA DE PAGAMENTO, DO RACIONAMENTO, DO CASO FORTUITO OU FORÇA MAIOR, DA RESCISÃO, DAS CONDIÇÕES GERAIS

CAPÍTULO I - DA GARANTIA DE PAGAMENTO

CLÁUSULA DÉCIMA TERCEIRA

Para garantir o fiel cumprimento das suas obrigações previstas neste Contrato, a COMPRADORA celebra nesta data, como parte indissociável deste Contrato, um instrumento de fiança do -----, a ser apresentado à VENDEDORA em até 120 (cento e vinte) dias após o início do fornecimento.

CAPÍTULO II - DO RACIONAMENTO

CLÁUSULA DÉCIMA QUARTA

Havendo determinação de racionamento no âmbito do Sistema Interligado Nacional - SIN, os montantes de Energia Elétrica Contratada, constantes das Cláusulas Quarta, Quinta e Sexta serão repactuados, de acordo com os critérios e procedimentos específicos a serem estabelecidos pela ANEEL para a ocasião.

CAPÍTULO III - DO CASO FORTUITO OU FORÇA MAIOR

CLÁUSULA DÉCIMA QUINTA

Na eventualidade de ocorrerem fatos e/ou eventos legalmente caracterizados como Caso Fortuito ou Força Maior, conforme estabelecido no parágrafo único do artigo 393 do Código Civil Brasileiro, cuja ocorrência as Partes não pudessem prever ou de qualquer forma evitar, e que impeçam a VENDEDORA ou a COMPRADORA de cumprirem com as suas obrigações nos termos deste Contrato, o Contrato permanecerá em vigor, mas a obrigação afetada assim como a correspondente

contraprestação ficarão suspensas, por tempo igual ao período de duração de tal evento, devendo a parte atingida tomar todas as providências necessárias para sanar o problema no menor prazo possível e para mitigar os efeitos decorrentes de tal evento de Caso Fortuito ou Força Maior, agindo de boa fé e tendo em vista a manutenção da equidade contratual.

Parágrafo Primeiro – A Parte afetada por um evento de Caso Fortuito ou Força Maior que afete o cumprimento de suas obrigações, deverá notificar a outra Parte o mais rápido possível, mas dentro de um prazo máximo de 5 (cinco) dias úteis desse fato, informando a ocorrência e a natureza do evento, descrevendo os impactos sobre suas obrigações previstas neste Contrato e uma estimativa do prazo de impedimento no cumprimento das obrigações afetadas. O ônus da prova recairá sobre a Parte que alegar a ocorrência de Caso Fortuito ou Força Maior.

Parágrafo Segundo – Cessados os efeitos decorrentes de Caso Fortuito ou Força Maior, a Parte que tiver invocado deverá comunicar o fato imediatamente à outra Parte, mediante notificação por escrito, ficando as Partes obrigadas a retomar imediatamente o cumprimento de suas obrigações contratuais, conforme previsto neste Contrato.

Parágrafo Terceiro – Para efeitos deste Contrato, em nenhuma circunstância, os eventos a seguir descritos serão considerados pelas Partes, como de Caso Fortuito ou Força Maior.

- (i) insolvência, liquidação, falência, reorganização societária, encerramento, término ou evento semelhante;
- (ii) boicotes, greves e/ou interrupções trabalhistas, ocupações da PCH ----- e interrupções prolongadas de trabalho; e
- (iii) a recusa da CCEE em proceder à contabilização deste Contrato, por motivo diretamente causado por qualquer das Partes;
- (iv) a promulgação, criação, extinção ou modificação da legislação aplicável e qualquer regulamentação, resolução ou ato similar da ANEEL, da CCEE ou qualquer outra autoridade governamental competente;
- (v) qualquer falha nas instalações de conexão, nas linhas de transmissão associada e nas linhas de distribuição da Distribuidora, transformadores e outras instalações correlatas, necessárias ao cumprimento das obrigações ora pactuadas.

CAPÍTULO IV - DA RESCISÃO

CLÁUSULA DÉCIMA SEXTA

Este Contrato poderá ser rescindido, a qualquer tempo, mediante notificação por escrito à outra Parte, com antecedência mínima de 30 (trinta) dias, nos seguintes casos:

- (i) pela VENDEDORA, caso a COMPRADORA deixe de efetuar os pagamentos devidos à VENDEDORA, por 3 (três) vezes em um período de 12 (doze) meses;
- (ii) pela COMPRADORA, caso a VENDEDORA deixe de assinar ou de manter vigente o Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição e o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição da Distribuidora;
- (iii) Por qualquer das Partes nas seguintes hipóteses:
 - a) a extinção, a alteração parcial ou integral de suas autorizações, por ação ou omissão das Partes, que altere direta ou indiretamente, os direitos das Partes garantidos neste Contrato;
 - b) se as Partes deixarem de cumprir com qualquer de suas outras obrigações e deixar de corrigir tal falta no prazo de 30 (trinta) dias, a contar do recebimento de notificação da outra Parte especificando a falta e exigindo que a outra Parte a corrija no prazo acima assinalado; ou
 - c) caso a outra Parte deixe de cumprir ou infrinja qualquer Legislação Aplicável a que esteja sujeita para a execução do presente Contrato e que venha a comprometer a sua fiel execução nos termos ora pactuados;
 - d) requerimento de falência, pedido de recuperação judicial ou de homologação de plano de recuperação extrajudicial, insolvência, dissolução ou liquidação judicial ou extrajudicial, declarada ou homologada, de uma das Partes;

e) caso a ANEEL não aprove o presente Contrato em todos os seus termos e as Partes não alcance um acordo para atender suas exigências.

Parágrafo Primeiro - Caso o Contrato seja rescindido pelo inadimplemento das obrigações por qualquer das Partes, observadas as exceções nele contida, estas desde já acordam e estabelecem que a Parte que deu causa à rescisão do Contrato estará sujeita à multa rescisória irredutível, calculada de acordo com a fórmula abaixo descrita:

$$\text{Multa} = \text{Porcentagem} \times \text{montante médio de energia elétrica} \times \text{período remanescente} \times \text{Preço}$$

Onde:

- percentagem – significa 20% (vinte por cento).
- montante médio de energia – significa a soma dos montantes de energia elétrica em megawatt-hora informados de acordo com a Cláusula Quinta para o ano em que ocorrer a rescisão, dividido pelo número de meses de fornecimento.
- período remanescente – significa o número de meses restantes do Contrato, contados da data em que ocorrer a rescisão até o fim do prazo de vigência.
- preço – significa o preço vigente na época em que ocorrer a rescisão.

Parágrafo Segundo - A rescisão do presente Contrato não libera as Partes das obrigações devidas até a sua data e não afetará ou limitará qualquer direito que, expressamente ou por sua natureza, deva permanecer em vigor após a rescisão ou que dela decorra.

Parágrafo Terceiro – O presente Contrato será rescindido de pleno direito, sem ônus para qualquer das Partes caso a ANEEL não o homologue ou faça restrições aos seus termos.

Parágrafo Quarto - Na ocorrência do previsto no *caput* desta Cláusula, a Parte afetada comunicará às entidades competentes a rescisão do Contrato, se assim optar, ficando liberada de qualquer responsabilidade relativa ao suprimento objeto deste Contrato.

CLÁUSULA DÉCIMA SÉTIMA

Qualquer das Partes poderá rescindir o presente Contrato, sem que disso resulte quaisquer penalidades, ônus ou responsabilidades para nenhuma delas, se, em decorrência de Caso Fortuito ou Força Maior, tal como definido na Cláusula Décima Quinta, a execução deste Contrato ficar suspensa por um prazo igual ou maior a 90 (noventa) dias consecutivos.

CAPÍTULO V - DAS CONDIÇÕES GERAIS

CLÁUSULA DÉCIMA OITAVA

As cláusulas contempladas neste Contrato estão fundamentadas na legislação vigente, que declaram conhecer, nas normas e nas disposições legais que nesta data regulamentam a geração, transmissão, distribuição, fornecimento e comercialização de energia elétrica. Posteriores alterações nessas normas e disposições legais serão incorporadas ao Contrato.

CLÁUSULA DÉCIMA NONA

O montante de Energia Elétrica Contratada, objeto deste Contrato e eventuais alterações de tal montante, conforme pactuado neste Contrato, serão informados pela COMPRADORA à ANEEL e a CCEE, em cumprimento aos procedimentos em vigor.

CLÁUSULA VIGÉSIMA

A VENDEDORA obriga-se a celebrar com a Distribuidora, nos prazos legais e manter vigente durante todo o Prazo de Vigência deste Contrato, e de forma a assegurar o fornecimento da Energia Elétrica Contratada à COMPRADORA, o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição e o Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição.

Parágrafo Único – Será de responsabilidade exclusiva da VENDEDORA o fornecimento das informações necessárias para operacionalização junto a CCEE do Ponto de Conexão com a Distribuidora, sendo que quaisquer custos atribuíveis à COMPRADORA, oriundos de divergências ou faltas

atribuíveis à VENDEDORA serão descontadas da fatura a ser paga a VENDEDORA.

CLÁUSULA VIGÉSIMA PRIMEIRA

A VENDEDORA e a COMPRADORA obrigam-se, por si, por seus sócios, diretores, representantes, prepostos, empregados, empresas coligadas ou afiliadas, a manter a confidencialidade e o sigilo de todas as informações e documentos relativos à outra Parte, a que tenham acesso em consequência da compra e venda de energia elétrica objeto deste Contrato, inclusive quanto aos termos e condições do presente Contrato, ressalvadas (i) as situações previstas na legislação e nas Regras da CCEE, e (ii) informações que já eram de domínio público à época em que forem reveladas ou se tornarem de domínio público após serem recebidas por uma das Partes, salvo se através de violação deste Contrato.

Parágrafo Único - A inobservância do disposto nesta Cláusula sujeita a Parte que der causa a ter que indenizar qualquer dano, perda, custo, responsabilidade, reclamação, obrigação, tributo e despesas, incluindo, mas sem a isso se limitar, a honorários advocatícios e custas judiciais incorridos pela outra Parte.

CLÁUSULA VIGÉSIMA SEGUNDA

Para os casos omissos no presente Contrato, prevalecerão as condições gerais estipuladas na legislação e normas em vigor, observados os termos da Cláusula Vigésima Sétima.

CLÁUSULA VIGÉSIMA TERCEIRA

A abstenção eventual de qualquer das Partes no uso das suas faculdades previstas no presente Contrato não implicará renúncia à utilização de tal faculdade. Qualquer renúncia ou desistência produzirá efeitos somente se for outorgada, expressamente, por escrito.

CLÁUSULA VIGÉSIMA QUARTA

Este Contrato não poderá ser cedido pela VENDEDORA como garantia de eventuais financiamentos a serem por ela obtidos, relacionados ao objeto do Contrato, sem o prévio e expreso consentimento da COMPRADORA. Será permitido às Partes ceder os direitos emergentes do Contrato.

CLÁUSULA VIGÉSIMA QUINTA

Este Contrato não poderá ser alterado, nem se admite renúncia às suas disposições, a não ser por meio de aditivo contratual, assinado pelas Partes, observado sempre o disposto na legislação aplicável.

CLÁUSULA VIGÉSIMA SEXTA

As comunicações, intimações e notificações que uma Parte venha a promover junto a outra Parte envolvendo este Contrato deverão ser feitas sempre por escrito, com confirmação inequívoca de recebimento, podendo ser veiculadas por meio de notificação judicial, notificação extrajudicial, carta, fac-símile ou e-mail.

Parágrafo Único - As Partes deverão receber as comunicações, intimações e notificações aqui previstas nos endereços abaixo indicados, a não ser que, no curso do Contrato, informem à outra Parte qualquer mudança de endereço:

Pela COMPRADORA:

Pela VENDEDORA:

Avenida -----

CEP: -----
Tel: -----
Fax: -----

TÍTULO III - DA SOLUÇÃO DE CONTROVÉRSIAS

CLÁUSULA VIGÉSIMA SÉTIMA

As Partes procurarão resolver amigavelmente suas diferenças relativas ao presente Contrato dentro do espírito de boa-fé que as inspira. Não sendo possível, no entanto, a composição amigável das eventuais controvérsias oriundas da interpretação ou aplicação deste instrumento, as disputas serão resolvidas por arbitragem.

Parágrafo Primeiro - Em caso de divergência, qualquer uma das Partes poderá notificar a outra Parte da existência e do conteúdo da divergência. A contar da data do recebimento da Notificação de Controvérsia, cada Parte terá 5 (cinco) dias para indicar um representante para negociar a solução da controvérsia. Assim que ambas as Partes tiverem indicado um representante, e no máximo ao final do prazo de 5 (cinco) dias a contar do recebimento da Notificação de Controvérsia, as Partes terão 30 (trinta) dias para alcançar um acordo com relação à controvérsia. Caso um acordo não seja alcançado dentro deste prazo pelos representantes das Partes, qualquer uma das Partes poderá submeter a controvérsia à arbitragem nos termos e condições abaixo, mediante envio de correspondência à outra Parte, com cópia à Câmara FGV de Conciliação e Arbitragem, solicitando a instauração da arbitragem (“Notificação de Arbitragem”).

Parágrafo Segundo - O tribunal arbitral será constituído de 3 (três) árbitros, sendo 1 (um) deles indicado pela VENDEDORA, outro indicado pela COMPRADORA e o terceiro indicado pelos 2 (dois) árbitros escolhidos pelas Partes.

Parágrafo Terceiro - O tribunal terá sede na cidade de São Paulo, Estado de São Paulo e será administrado de acordo com as regras da Câmara FGV de Conciliação e Arbitragem (“Câmara de Arbitragem”), cujas regras serão

obedecidas no processo, observadas as disposições da Lei Federal n.º 9.307/96. O Regulamento da Câmara de Arbitragem, vigente na data da notificação prevista no Parágrafo Primeiro acima, e as disposições da Lei Federal n.º 9.307/96, conforme alterada até a mesma data, integram o presente Contrato. Todo o procedimento arbitral será realizado em língua portuguesa.

Parágrafo Quarto - As decisões serão adotadas pela maioria dos árbitros do tribunal arbitral e não poderão ser baseadas no princípio de equidade, devendo ater-se ao previsto nas disposições legais e/ou normativas da República Federativa do Brasil ou nas disposições contratuais aplicáveis. A decisão arbitral final deverá ser proferida no prazo de até 90 (noventa) dias contados do envio da Notificação de Arbitragem.

Parágrafo Quinto - A Parte que por qualquer motivo frustrar ou impedir a instauração do tribunal arbitral, seja não adotando as providências necessárias no prazo devido, seja forçando a outra Parte a adotar as medidas previstas no artigo 7º da Lei Federal n.º 9.307/96, ou ainda que não cumprir todos os termos da sentença arbitral, arcará com a multa não compensatória equivalente a R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) por dia de atraso na instauração do tribunal arbitral ou no cumprimento das disposições da sentença arbitral, sem prejuízo das determinações e penalidades constantes de tal sentença.

Parágrafo Sexto - Os custos, despesas e honorários incorridos com o procedimento arbitral serão arcados pela Parte que solicitar a instauração do procedimento, até a decisão final sobre o conflito proferida pela Câmara de Arbitragem. Proferida a decisão final, a Parte derrotada deverá ressarcir, se for o caso, todos os custos, despesas e honorários incorridos pela Parte que solicitou instauração do procedimento arbitral, acrescido de juros de 1% (um por cento) ao mês e atualizado monetariamente com base no IGP-M, desde a data do desembolso até a data do efetivo ressarcimento. Caso a vitória seja parcial de uma Parte, ambas arcarão com os custos, despesas e honorários incorridos, na proporção de sua derrota. Os custos, despesas e honorários até a decisão final do procedimento arbitral poderão ser rateados entre as Partes em partes iguais, caso ambas solicitem a instauração do procedimento arbitral, enviando correspondência conjunta à Câmara de Arbitragem.

Parágrafo Sétimo - Nenhum árbitro designado de acordo com esta Cláusula deverá ser um funcionário, representante ou ex-funcionário ou representante de qualquer das Partes ou qualquer pessoa a ela ligada direta ou indiretamente, ou proprietário de uma das Partes ou de alguma pessoa a

ela ligada direta ou indiretamente.

Parágrafo Oitavo - Nos litígios envolvendo valores até R\$200.000,00 (duzentos mil reais), corrigidos pelo IGP-M desde a data de celebração do presente Contrato até a data de início do litígio, deverá ser nomeado somente 1 (um) árbitro para solução destes litígios. Caso as Partes não cheguem a um consenso sobre a nomeação do árbitro, tal nomeação deverá ser feita pelo presidente da Câmara de Conciliação e Arbitragem da Fundação Getúlio Vargas, sendo aplicadas todas as demais disposições previstas nesta Cláusula.

Parágrafo Nono - Cada Parte, neste ato, obriga-se a se vincular por qualquer decisão arbitral final.

Parágrafo Décimo - Para a execução da sentença arbitral e/ou para a solução das controvérsias que não puderem ser submetidas ao juízo arbitral ou que qualquer das Partes preferir levar à apreciação do Poder Judiciário, fica eleito o Foro da Comarca de Cuiabá, Estado do Mato Grosso, para dirimir quaisquer dúvidas, decorrentes do presente Contrato, com renúncia a qualquer outro, por mais privilegiado que seja.

E por estarem assim justas e acordadas, as Partes firmam o presente instrumento em 3 (três) vias de igual teor e forma, conjuntamente com as testemunhas abaixo.

Local, _____ de _____ de 2006.

assinaturas
