

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ**

Tiago Elias dos Santos

**UMA METODOLOGIA PARA CONTABILIZAÇÃO DA  
GERAÇÃO E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM SMART GRIDS**

Araranguá, Julho de 2013.

Tiago Elias dos Santos

**UMA METODOLOGIA PARA CONTABILIZAÇÃO DA  
GERAÇÃO E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM SMART GRIDS**

**Trabalho de Conclusão de  
Curso submetido à Universi-  
dade Federal de Santa Cata-  
rina, como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do  
Grau de Bacharel em Tecno-  
logias da Informação e Comu-  
nicação.**

Araranguá, Julho de 2013.

Tiago Elias dos Santos

**UMA METODOLOGIA PARA CONTABILIZAÇÃO DA  
GERAÇÃO E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA  
EM SMART GRIDS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação”, e aprovado em sua forma final pela Curso de Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Araranguá, Julho de 2013.

---

Prof. Dr. Vilson Gruber  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Anderson Luiz Fernandes Perez  
Presidente

---

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Ourique



---

Prof. Dr. Vilson Gruber



A minha esposa Elaine, ao meu filho Gabriel, e aos meus pais Pedro Sant´Ana e Cecília Elias.





## AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder o dom da vida da qual desfruto todos os dias. Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado me apoiando em todos os momentos e que me concederam educação para a vida. Ao meu irmão pelo seu auxílio e companheirismo. A minha esposa Elaine e ao meu filho Gabriel que sempre me deram forças e apoio durante este processo de aprendizado e foram meu refúgio. Aos meus colegas e amigos pelo apoio neste processo de aprendizagem, em especial o Telmo dos Santos Klipp. Aos membros do LARM (Laboratório de Automação e Robótica Móvel), em especial ao Eduardo Germano da Silva e aos colegas da empresa CERSUL pelo apoio e auxílio concedidos. A Universidade Federal de Santa Catarina que me proporcionou a oportunidade desta formação acadêmica e em especial ao meu orientador, professor Anderson Luiz Fernandes Perez, por suas importantes contribuições no desenvolvimento deste trabalho e por ser uma fonte de inspiração, motivação e dedicação.



*O único lugar onde o sucesso vem antes  
do trabalho é no dicionário.*

Albert Einstein



## RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para a contabilização da geração e do consumo de energia elétrica em Smart Grids no cenário nacional, considerando a legislação vigente. Um smart grid pode ser caracterizado pela forte integração das Tecnologias da Informação e Comunicação com os equipamentos das redes de energia elétrica, que permitem uma maior interação entre os usuários finais e as concessionárias de energia elétrica, bem como possibilita a mudança do perfil do consumidor que passará a ser um agente ativo no sistema, isto é, não somente consumindo energia, mas também gerando, facilitando desta forma que este negocie o excedente com a concessionária. Visando garantir o atendimento a crescente demanda por energia elétrica e priorizando a utilização de fontes renováveis de geração, percebe-se o quanto é importante a implementação das redes elétricas inteligentes, também conhecidas por *Smart Grid*. Este trabalho apresenta uma forma de se aproveitar a energia excedente gerada por esses consumidores através de uma nova metodologia e conceito do sistema de distribuição de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Energia Elétrica; Smart Grid; Geração Distribuída; Cidades Inteligentes.



## ABSTRACT

This work presents a methodology for accounting for generation and electricity consumption in Smart Grid on the Brazilian scene, considering current legislation. A smart grid can be characterized by a strong integration of Information Technology and Communication with the equipment of electric power grids, which allow greater interaction among end-users and electric energy concessionaires, as well as enabling the changing profile of consumers who will be an active agent in the system, i.e., not only consume energy, but also by generating, thus facilitating that this surplus negotiate with the dealership. Aiming to ensure service the growing demand for electricity and prioritizing the use of renewable generation realizes how important the implementation of smart grids, also known as Smart Grid. This work presents a way to harness the excess energy generated by these consumers through a new methodology and concept of the distribution system of electricity.

**Keywords:** Electric Power; Smart Grid; Distributed Generation; Smart Cities





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Usina hidrelétrica marmelos zero.....	28
Figura 2	Representação da geração de energia elétrica por usina hidrelétrica.....	31
Figura 3	Componentes de uma turbina eólica.....	32
Figura 4	Gráfico de evolução da geração eólica no Brasil.....	33
Figura 5	Representação da geração de energia por captação de radiação solar.....	34
Figura 6	Representação de geração de energia nuclear.....	35
Figura 7	Estrutura básica de um sistema de transmissão.....	36
Figura 8	Caminho percorrido pela energia elétrica desde a fonte de geração até os consumidores finais.....	37
Figura 9	Matriz energética brasileira.....	38
Figura 10	Participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica.....	39
Figura 11	Mapa do sistema interligado de energia elétrica no Brasil.....	41
Figura 12	Esquema de funcionamento de um <i>smart grid</i> .....	44
Figura 13	Visão geral da arquitetura intelligrid.....	46
Figura 14	Esquema geral de uma medição inteligente.....	48
Figura 15	Ciclo Estrutural de uma cidade inteligente.....	50
Figura 16	Exemplo de geração distribuída conectada a rede de distribuição de energia elétrica.....	53
Figura 17	Arquitetura proposta para o controle da geração e do consumo de energia elétrica em um smart grid.....	56
Figura 18	Arquitetura subestação de bairro.....	58
Figura 19	Esquema de funcionamento sistema PLC.....	92



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Oferta e consumo de energia elétrica no brasil . . . . .	38
Tabela 2	Faixa de potência conforme os níveis de tensão da rede distribuição. . . . .	53
Tabela 3	Listagem das subestações que sofreram interrupção no fornecimento de energia pela concessionária. . . . .	64
Tabela 4	Listagem da situação das cinco subestações no tempo 20. . . . .	65
Tabela 5	Listagem das unidades consumidoras da subestação 1 que possuem excedente de geração de energia elétrica. . . . .	65
Tabela 6	Listagem da situação das cinco subestações no tempo 46. . . . .	65
Tabela 7	Listagem da subestação que tinha unidades geradoras com energia excedente capaz de suprir a demanda da subestação solicitante. . . . .	66
Tabela 8	Listagem da situação das subestações no tempo 56. . . . .	66
Tabela 9	Listagem das unidades consumidoras das subestações 3 e 1 que possuíam excedente de geração de energia elétrica. . . . .	67
Tabela 10	Listagem da situação das subestações no tempo 100. . . . .	67
Tabela 11	Tabela de consumidores da subestação 4(prioridades) . . . . .	68
Tabela 12	Listagem das unidades consumidoras das subestações 2, 3 e 5 que possuíam excedente de geração de energia elétrica. . . . .	68
Tabela 13	Lista de usuários . . . . .	86

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CME	Companhia Mineira de Eletricidade
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
GD	Geração Distribuída de Energia Elétrica
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
Km	<i>Quilômetro</i>
kV	<i>Quilovolts</i>
kW	<i>Quilowatt</i>
kWh	<i>Quilowatt - hora</i>
LARM	Laboratório de Automação e Robótica Móvel
MW	<i>Megawatt</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PRODIST	Procedimento de Distribuição
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SG	Smart Grid
SIN	Sistema Interligado Nacional
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
TWh	<i>Terawatt-hora</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	23
1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	23
1.2 OBJETIVOS .....	24
1.2.1 Geral .....	24
1.2.1.1 Específicos .....	25
1.3 METODOLOGIA .....	25
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	25
<b>2 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL</b>	27
2.1 PRIMEIRA FASE - DO IMPÉRIO A REPÚBLICA .....	27
2.1.1 Segunda Fase - Do início da República a Getúlio Vargas .....	27
2.1.2 Terceira fase - Getúlio Vargas a Juscelino Kubitscheck .....	28
2.1.3 Quarta fase - Do governo de Juscelino até a Era Militar .....	29
2.1.4 Quinta fase - Período Militar até governo Fernando Henrique Cardoso .....	29
2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	30
2.2.1 Geração de Energia Elétrica por Usinas Hidrelétricas	31
2.2.2 Geração de Energia elétrica por Usinas Eólicas .....	32
2.2.3 Geração de Energia Elétrica por Usinas de Captação de Radiação Solar .....	33
2.2.4 Geração de Energia Elétrica por Usinas Nucleares .	34
2.3 TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	35
2.4 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	36
2.5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	37
2.6 ORGANIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO ..	39
2.6.1 Operador Nacional do Sistema Elétrico e o Sistema Interligado Nacional .....	40
2.6.2 Estrutura do Sistema de Transmissão Brasileiro ....	40
<b>3 REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES</b> .....	43
3.1 DEFINIÇÕES .....	43
3.2 BENEFÍCIOS DO SMART GRID .....	44
3.3 CENÁRIO INTERNACIONAL .....	45
3.4 CENÁRIO NACIONAL .....	46
3.5 MEDIÇÃO INTELIGENTE .....	47
3.6 CIDADES INTELIGENTES .....	49

3.7	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA . . . .	51
3.7.1	Conceitos de Geração Distribuída de Energia Elétrica	51
3.7.2	Mercado da Geração Distribuída . . . . .	52
3.8	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GD . . . . .	52
3.9	CONEXÃO ENTRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E A REDE DE DISTRIBUIÇÃO . . . . .	54
4	<b>METODOLOGIA PARA CONTABILIZAÇÃO DA GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA . . . . .</b>	<b>55</b>
4.1	ARQUITETURA PARA GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA . . . . .	55
4.2	SUBESTAÇÃO DE BAIRRO . . . . .	57
4.3	ESTRUTURA DAS NEGOCIAÇÕES DE EXCEDENTE DE ENERGIA ELÉTRICA . . . . .	58
5	<b>AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA . . . .</b>	<b>63</b>
5.1	DEFINIÇÕES PRELIMINARES . . . . .	63
5.1.1	Análise dos Resultados da Simulação . . . . .	63
5.1.2	Situação 1 - uso do excedente de energia gerada pelas unidades consumidoras da própria subestação	64
5.1.3	Situação 2 - uso do excedente de outra subestação .	64
5.1.4	Situação 3 - uso do excedente de mais de uma su- bestação de bairro . . . . .	66
5.1.5	Situação 4 - uso do excedente de uma ou mais su- bestações para atender algumas prioridades . . . . .	67
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .</b>	<b>69</b>
6.1	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .	69
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO A – Resumo da Legislação . . . . .</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXO B – Listagem dos Consumidores com Respecti- vos Dados Utilizados na Simulação . . . . .</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXO C – Tecnologia Power Line Communication - PLC</b>	<b>91</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um bem essencial ao ser humano e representa um fator determinante no desenvolvimento socioeconômico da população mundial, pois é utilizada para diversos fins. Há apenas dois séculos que ela surgiu como uma solução para a necessidade de aprimorar os sistemas de iluminação pública e para alavancar o crescimento industrial.

Com a evolução da tecnologia surgiram novos equipamentos que facilitaram a gestão da geração e distribuição da energia elétrica, como os medidores de energia elétrica e os dispositivos de automação de rede (TOLEDO, 2012).

Porém, nota-se que em países em desenvolvimento como o Brasil, os investimentos na estrutura do setor elétrico são muito menores que em países desenvolvidos como Estados Unidos, o que acarreta uma estrutura que não atende a demanda. Apesar do avanço tecnológico pouco se investiu nas linhas de transmissão e distribuição o que vem ocasionando diversos problemas, como por exemplo os apagões. Portanto, torna-se necessário mais investimentos em geração e distribuição de energia elétrica.

A inovação no setor surge para atender um novo conceito de consumidor que já não estão mais satisfeito em apenas consumir energia elétrica, mas também gerar sua própria energia, proporcionando uma economia para si mesmo e uma redução do impacto sócio-ambiental causado pelas grandes usinas geradoras de energia elétrica, sobretudo porque a autogeração é feita de maneira sustentável e ecologicamente correta.

As redes inteligentes, também conhecidas como *Smart Grids*, tem um papel fundamental nesta nova fase do setor elétrico, uma vez que integram as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) com o sistema elétrico tornando possível a coleta de dados de forma remota e contínua, além de tornarem possíveis que sejam tomadas medidas instantâneas, em situações de pane no sistema sem a necessidade da intervenção humana.

## 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Há alguns anos o termo Smart Grid (SG) é debatido no Brasil. Vários seminários e eventos que discutem o SG têm reunido diver-

os agentes do setor, como fabricantes, concessionárias, pesquisadores, universidades e entidades governamentais visando a formalização de normas e padrões deste novo paradigma de geração e distribuição de energia elétrica no país.

O conceito de *Smart Grid* tem se difundido em todo o mundo e novas tecnologias surgem neste novo panorama visando um sistema muito mais interligado, sobretudo porque os consumidores finais do sistema podem também se tornar geradores, a partir do uso de tecnologias de geração que utilizam fontes alternativas de energia. Ao se considerar esta possibilidade percebe-se que as concessionárias devem se adequar a um novo tipo de configuração do sistema elétrico.

O que se busca através da implementação das redes inteligentes é levar a tecnologia para o setor elétrico, que é um segmento importantíssimo para a estrutura do país, mas que teve pouco investimento e desenvolvimento nas últimas décadas.

Diante desta evolução, é necessário uma mudança de paradigma do setor elétrico brasileiro visando a melhoria do sistema, tornando-o mais dinâmico e interativo, tornando o mesmo capaz de servir como ferramenta de análise e diagnóstico e ao mesmo tempo possibilitando uma maior interação entre as concessionárias e consumidores finais que a partir das novas possibilidades de geração podem também vir a ser produtores de energia elétrica.

Assim este trabalho apresentará os conceitos que envolvem a área de *smart grid* e irá propor uma metodologia para contabilizar o consumo e a geração de energia elétrica realizados de maneira distribuída.

## 1.2 OBJETIVOS

Esta sessão apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

### 1.2.1 Geral

Desenvolver e avaliar uma metodologia para contabilização da geração e do consumo da energia elétrica em *Smart Grids* considerando a legislação vigente no Brasil.



### 1.2.1.1 Específicos

1. Estudar o estado da arte referente a geração, distribuição e consumo de energia elétrica, focando, principalmente o mercado nacional.
2. Estudar o estado da arte em Redes Inteligentes para energia elétrica (Smart Grids).
3. Propor e desenvolver uma metodologia para contabilização da geração e do consumo de energia elétrica em Smart Grids que esteja em consonância com a legislação vigente no país.
4. Avaliar a metodologia proposta em um ambiente simulado.

## 1.3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho foram estudados os conceitos envolvidos nas redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*), bem como suas características e aplicações. Também foram estudados os conceitos que permeiam a geração distribuída e a auto-produção de energia elétrica.

Foi efetuado um levantamento e elaborado um resumo sobre a legislação vigente no país sobre o tema abordado.

Inicialmente foi criada uma arquitetura de rede inteligente para que a metodologia para contabilização da geração e consumo de energia elétrica fosse avaliada. Para tanto, foi necessário o desenvolvimento de um simulador em linguagem de programação C, uma vez que não foram encontrados simuladores de SG que pudessem ser utilizados na validação do trabalho.

Os resultados obtidos foram baseados em uma análise de dados que foram gerados a partir do simulador desenvolvido especificamente para validar a proposta deste trabalho.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho, além desta introdução, está organizado em mais 5 (cinco) capítulos e 3 (três) anexos que versam sobre os seguintes conteúdos:

No Capítulo 2 é descrito resumidamente a história da energia

elétrica no Brasil. São apresentadas as principais formas de geração de energia elétrica bem como sua distribuição até os centros de consumo. Também é apresentada a configuração da matriz energética brasileira.

O Capítulo 3 abordará as definições do termo *Smart Grid*, onde serão apresentados estudos de casos no Brasil e no exterior. Serão definidos os termos de medição inteligente e geração distribuída abordando as vantagens e desvantagens deste novo modelo de geração de energia elétrica.

No Capítulo 4 é descrita uma arquitetura para geração e distribuição de energia elétrica que servirá como base para a validação da metodologia de contabilização de geração e consumo de energia elétrica em SGs. O capítulo também abordará o conceito de subestação de bairro e o processo de negociação do excedente de energia elétrica gerado pelas unidades consumidoras.

O Capítulo 5 apresenta alguns resultados obtidos a partir da simulação da arquitetura de geração e distribuição de energia elétrica e a metodologia de contabilização de geração e consumo de energia apresentados no Capítulo 4.

No Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais e algumas sugestões para trabalhos futuros que visam estender e melhorar a metodologia proposta neste Trabalho de Conclusão de Curso.

O anexo A traz um resumo sobre a legislação vigente no Brasil no que diz respeito a geração distribuída e autoprodução de energia elétrica.

O anexo B apresenta uma listagem dos dados dos consumidores utilizados na simulação descrita no Capítulo 5.

O anexo C descreve resumidamente a tecnologia Power Line Communication (PLC).

## 2 HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Este capítulo apresenta um breve resumo sobre a história da energia elétrica no Brasil. Apresenta as principais formas de geração de energia elétrica e como se dá sua distribuição até os centros de consumo. Também descreve a configuração da matriz energética brasileira.

### 2.1 PRIMEIRA FASE - DO IMPÉRIO A REPÚBLICA

O marco inicial da utilização da energia elétrica no Brasil foi o ano de 1879, quando o governo brasileiro preocupava-se com a implantação do serviço de iluminação pública. Dom Pedro II concedeu a Thomas Alvas Edison o privilégio de instalar no país seus aparelhos e invenções destinados a este meio (JANNUZZI, 2007).

Segundo (HAMILTON, 2008) os investimentos iniciais no setor elétrico brasileiro foram concretizados graças à iniciativa privada, com alguns poucos incentivos dos poderes públicos municipais para atender o serviço de iluminação pública das cidades. Um exemplo de investimento desta época foi a ousadia do Sr. Bernardo Mascarenhas, que em 1888 fundou a Companhia Mineira de eletricidade (CME) e inaugurou no ano seguinte em Minas Gerais a primeira hidrelétrica considerada de porte da América do Sul com o nome de Marmelos Zero.

A Figura 1 ilustra a usina hidrelétrica de Marmelos Zero, que foi o fato mais importante na história da geração de energia elétrica no Brasil e contava com uma capacidade instalada de potência de 0,250 MW.

Durante esta fase inicial registra-se o interesse do governo brasileiro na implementação do serviço público de energia elétrica no Brasil. Tendo como grande precursor D. Pedro II, que no ano de 1879 concedeu a Thomas Alva Edison a autorização para implementar suas invenções que eram destinadas à utilização da eletricidade na iluminação pública. De acordo com (JANNUZZI, 2007), este ato foi considerado o “momento da concepção”.

#### 2.1.1 Segunda Fase - Do início da República a Getúlio Vargas

Nesta fase os investimentos em geração de energia continuaram a crescer e também nesta etapa da história é que começaram a surgir as



Figura 1 – Usina hidrelétrica marmelos zero.  
Extraído de (ELETROBRAS, 2013)

primeiras ações estruturais dentro do setor elétrico, das quais destacam-se a formação das concessionárias de energia elétrica, de modo especial a LIGHT no estado do Rio de Janeiro e São Paulo e ainda a criação das primeiras leis e decretos do setor (JANNUZZI, 2007). No final desta fase surge o domínio nacionalista de Getúlio Vargas.

No ano de 1903 e 1904, respectivamente, foi publicada a primeira lei sobre energia elétrica, Lei nº 1.145, de 31 de dezembro de 1903, e do primeiro Decreto, de nº 5.704, de 10 de dezembro de 1904, os quais regulamentaram a concessão e o aproveitamento da energia hidráulica dos rios brasileiros para fins de geração de energia elétrica para serviços públicos, sendo facultado o uso dos excedentes para autoconsumo em atividades agroindustriais.

Também no ano de 1904 criou-se em Toronto no Canadá a *Ligth and Power Company* que atuou nos serviços de fornecimento de energia elétrica, iluminação, transportes e telefonia dentro do estado do Rio de Janeiro (ELETROBRAS, 2013).

Segundo (ESCELSA, 2013) em 1934 ocorreu a promulgação do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, o código das águas, atribuindo a União a competência exclusiva, como poder concedente com relação ao aproveitamento e a utilização das quedas d'água para serviços públicos, este código foi um marco histórico importantíssimo e vigora até hoje.

### 2.1.2 Terceira fase - Getúlio Vargas a Juscelino Kubitscheck

Em 1939 a Lei 1.285 criou o Conselho Nacional de Águas e Energia que transformou-se através do Decreto 1.699, de 24 de outo-

bro do mesmo ano em Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE). Este órgão estava diretamente subordinado à presidência da república, como principal órgão para os assuntos relacionados à política de energia elétrica até a criação do Ministério de Minas e Energia e das Centrais Elétricas Brasileiras na década de 60 (ELETROBRAS, 2013).

De acordo com (JANNUZZI, 2007) no período pós-guerra, o setor elétrico entrou em crise, os racionamentos aconteciam em grandes escalas, portanto tornaram-se necessárias várias ações governamentais visando à capitalização do setor. Neste período foi instituído o Fundo Federal de Eletrificação e criado um imposto sobre a energia elétrica, ambos por meio da Lei 2.308 do ano de 1954.

### **2.1.3 Quarta fase - Do governo de Juscelino até a Era Militar**

Nesta fase o setor público participa constantemente da expansão do setor elétrico, através da criação de novas empresas e adquirindo ações de outras, além de que os estados também criaram suas estatais e autarquias. Em 1962 criou-se a Eletrobrás, que assumiu o papel de *holding* gerando recursos para as empresas do setor elétrico, também ficou com a responsabilidade de planejar, coordenar, ampliar e operar os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (JANNUZZI, 2007).

### **2.1.4 Quinta fase - Período Militar até governo Fernando Henrique Cardoso**

Nesta etapa da história observou-se a aceleração da estatização, seguido do modelo centralizado com tarifas equalizadas, e uma limitação da remuneração, fatos que não incentivavam a eficiência operacional das concessionárias. Assim, ao longo dos anos, o Brasil passa por uma privatização restando apenas algumas concessionárias distribuidoras sob o domínio predominante do capital dos estados.

Segundo (ESCELSA, 2013) no ano de 1978 publicou-se a Portaria 046, que estabeleceu as disposições relativas à continuidade de serviço no fornecimento de energia elétrica e a Portaria 047, que determinou critérios quanto às tensões de fornecimento de energia elétrica.

No período de 1984 a 1985 iniciou-se a operação de grandes hidrelétricas em função do crescimento do consumo anual de energia elétrica, destacando-se a Usina Hidrelétrica de Tucuruí com uma capa-

cidade de 6.495 MW, sob a responsabilidade da Eletronorte (1973) e a Usina Hidrelétrica Itaipu com 14.000 MW, por intermédio da Itaipu Binacional (1973), bem como da Usina Termo Nuclear Angra I que contava com 657 KW de potência instalada (1985), em parceria com a Alemanha (ELETROBRAS, 2013).

No ano de 1996 ocorreu a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Lei n 9.427. Já no ano de 2001 foi publicada a Resolução 505 da ANEEL que estabeleceu as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão em regime permanente (ELETROBRAS, 2013).

No período do ano de 1995 a 2001 houve uma falta de investimento por parte do governo no setor elétrico e devido a isso começaram a acontecer os racionamentos de energia elétrica.

Segundo (HAMILTON, 2008) no ano de 2002 o governo começa a investir consideravelmente no setor elétrico, a carteira de projetos do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) somava 19,4 bilhões de reais de investimentos, sendo distribuídos entre geração com 102 projetos, com capacidade de 17.506 MW de capacidade instalada, transmissão e distribuição de energia elétrica.

## 2.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como a energia elétrica é um insumo fundamental para os setores da economia, desde o consumo residencial até o funcionamento das indústrias, pode-se afirmar que o consumo de energia elétrica está diretamente relacionado com o crescimento de um país. De forma geral, quanto maior o crescimento econômico, maior o poder de compra e consumo das pessoas e portanto o consumo de energia elétrica tende a crescer. Atualmente o Brasil conta com uma capacidade instalada de 121 GW para suprir a demanda de seus consumidores (MME, 2013).

Para tornar possível a geração da energia elétrica primeiramente deve ser obtida a força necessária para movimentar as turbinas das usinas de eletricidade. Elas são grandes sistemas que movimentam geradores que fazem a transformação da energia mecânica em energia elétrica.

Tal força pode ser obtida através de diversas fontes primárias de energia. No Brasil ela vem em primeiro lugar das usinas hidrelétricas, seguido das termelétricas e outras fontes renováveis (como os ventos, a queima do biodiesel, dentre outras), e por último das usinas nucleares.

## 2.2.1 Geração de Energia Elétrica por Usinas Hidrelétricas

O modelo de geração de energia elétrica brasileiro é essencialmente hidrelétrico, com 81,7 por cento da capacidade instalada. Esta representação elevada se dá pela existência de grandes rios de planalto existentes em nosso país que são alimentados constantemente por chuvas tropicais, o que proporciona ao Brasil o título de país com maior reserva de água doce do mundo. Também considera-se o fato de que os valores investidos em aspectos operacionais é inferior se comparados a outras fontes de geração de energia.

As usinas hidráulicas de médio e grande porte estão cada vez mais distantes dos centros de carga, o que ocasiona um considerável investimento em linhas de transmissão, além dos impactos ambientais, uma vez que para a sua instalação é necessário a inundação de grandes áreas para a construção de barragens (NEOENERGIA, 2013).

O processo de geração de energia elétrica através da força das águas se dá com a transformação da energia potencial hidráulica em energia elétrica. Para tornar isto possível é necessário que a água passe por condutos que a levará para os eixos da turbina que movimentam o gerador elétrico, tornando possível assim a concepção da energia elétrica. Geralmente uma usina hidrelétrica é composta por uma barragem, reservatório, casa de força, gerador e outros equipamentos.

A Figura 2 ilustra o processo de geração a partir de uma usina hidrelétrica.



Figura 2 – Representação da geração de energia elétrica por usina hidrelétrica.

Extraído de (UNESP, 2013)

Visando a diminuição dos impactos ambientais e o aproveitamento do potencial hidráulico, o futuro da geração hidrelétrica está na energia das ondas, que também podem ser utilizadas para a geração de energia elétrica (WALISIEWICZ, 2008).

### 2.2.2 Geração de Energia elétrica por Usinas Eólicas

Segundo (ALDABO, 2002) pode-se denominar energia eólica a energia cinética contidas nas massas de ar que estão em movimento. O aproveitamento desta energia pode ocorrer quando converte-se a energia cinética de translação em energia cinética de rotação, utilizando-se turbinas eólicas, que também são chamadas de aerogeradores, para a geração de energia elétrica ou através de cataventos ou moinhos para utilização em trabalhos mecânicos, como por exemplo o bombeamento de água.

Para a geração de energia elétrica utiliza-se torres verticais onde, as pás dos aerogeradores coletam a energia cinética do vento e com isso fazem com que ocorra o movimento do eixo que une o cubo do rotor a um gerador que transforma a energia cinética em energia elétrica.

O aproveitamento da energia gerada a partir deste processo pode chegar a 59 por cento, ou seja, de toda captação dos ventos efetuada pelas pás dos aerogeradores chega-se a 59 por cento de transformação da energia cinética em energia elétrica (ALMEIDA, 2010).

A Figura 3 ilustra o funcionamento de uma Turbina Eólica.

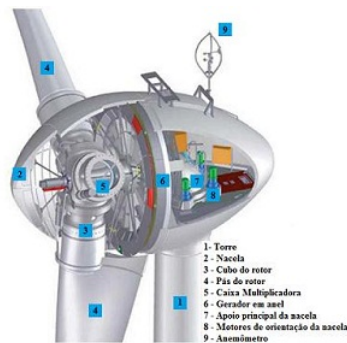


Figura 3 – Componentes de uma turbina eólica.  
 Extraído de (ALMEIDA, 2010)



A energia eólica vem se destacando com um elevado crescimento desde o início de seu uso. Apesar de representar apenas 0,5 por cento da produção nacional, a produção eólica se destaca pelo seu baixo custo de produção e pelo pequeno impacto ambiental causado pelas suas instalações. A Figura 4 mostra o crescimento deste tipo de geração de energia elétrica.



Figura 4 – Gráfico de evolução da geração eólica no Brasil.  
Extraído de (EPE, 2012)

### 2.2.3 Geração de Energia Elétrica por Usinas de Captação de Radiação Solar

A energia solar consiste na captação da radiação solar para utilização como fonte térmica de energia que pode ser utilizada para aquecimento de fluidos ou ambientes, para geração de potência mecânica ou elétrica, além de poder ser convertida diretamente em energia elétrica.

De acordo com (HINRICHS MERLIN KLEINBACH, 2010) a geração de energia elétrica através do sol consiste no emprego de materiais semicondutores, dos quais são afetados pelos efeitos de calor e luz, dentre os quais se destaca o efeito fotovoltaico. Neste efeito os fótons contidos na radiação solar são convertidos diretamente em energia elétrica através dos painéis solares. Estes recebem a incidência dos raios solares e produzem a energia em corrente contínua (CC), portanto torna-se necessário a utilização de inversores de corrente contínua para corrente alternada (CA) para que a energia elétrica gerada por este tipo de sistema possa ser utilizada para o consumo final. Esta energia fica armazenada em sistemas de bateria para garantir o fornecimento de

energia elétrica quando a incidência de raios solares estiver mais baixa. A Figura 5 ilustra o funcionamento básico da geração solar.

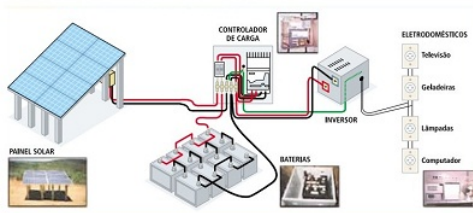


Figura 5 – Representação da geração de energia por captação de radiação solar.

Extraído de (ANEEL, 2013a)

Atualmente a energia solar está sendo empregada para a geração distribuída de energia elétrica (GD) que consiste na geração residencial, por exemplo, e na redistribuição da energia excedente para a rede de distribuição das concessionárias de energia elétrica.

## 2.2.4 Geração de Energia Elétrica por Usinas Nucleares

O enriquecimento de urânio para a geração de energia elétrica é uma das fontes não-renováveis mais utilizadas no mundo, representando uma parcela considerável dentro da matriz energética mundial. O fato da abundância da matéria prima e a baixa emissão de dióxido de carbono são elementos favoráveis deste tipo de geração, porém ela sofre uma imensa crítica de órgãos ambientais devido ao grande impacto que causam ao meio ambiente uma vez que o lixo que é gerado pelas mesmas não possuem uma destinação adequada e ficam na maioria das vezes em depósitos que apesar de serem considerados seguros podem causar grandes desastres ecológicos se houver ocorrências de acidentes com os mesmos. O Brasil possui duas unidades de usinas nucleares ativas que contam com uma capacidade instalada de aproximadamente 2.007 KW (ANEEL, 2013a).

O processo de geração de energia nuclear se da no núcleo de um reator. As barras de combustível adicionadas a ele contem um isótopo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Isótopos são elementos que possuem o mesmo número atômico, porém não possuem a mesma massa. Eles tem o mesmo número de prótons em seus núcleos, mas seus números de nêutrons são diferentes (BRADY; HUMISTON, 2009).

que efetua o processo de fissão<sup>2</sup> nuclear do urânio, a água que é utilizada também no processo efetua movimentos circulares ao redor do núcleo e absorve todo o calor gerado pela reação de fissão nuclear. O líquido altamente aquecido, escoo para um gerador de vapor, onde o vapor produzido é encaminhado para uma turbina ligada a um gerador de energia. O vapor realiza o movimento na turbina, gerando eletricidade (BIODIESELBR, 2013).

A Figura 6 ilustra o processo de geração de energia a partir do uso do urânio.

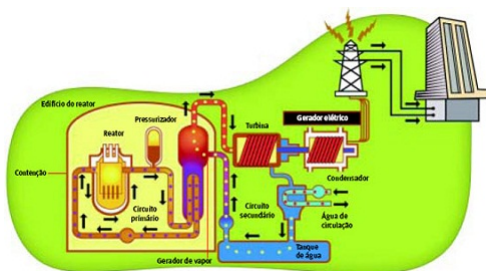


Figura 6 – Representação de geração de energia nuclear.  
Extraído de (BIODIESELBR, 2013)

## 2.3 TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Após a geração da energia elétrica existe a necessidade do transporte da mesma até os centros de consumo que estão espalhados geograficamente, para isto pode-se contar com o sistema elétrico de potência (SEP) que tem como finalidade a transmissão e distribuição de energia seguindo padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança, dentre outros, sempre visando o menor impacto ambiental possível.

A Figura 7 ilustra a configuração básica do sistema de transmissão de energia elétrica.

Quando se transmite a energia elétrica em grandes distâncias torna-se necessário que a tensão da mesma seja elevada, isto devido ao efeito Jaule que ocorre nos fios usados no transporte de energia

<sup>2</sup>Fissão nuclear é o processo que força a divisão de um átomo para a formação de outros dois mais leves (HEWITT, 2002).

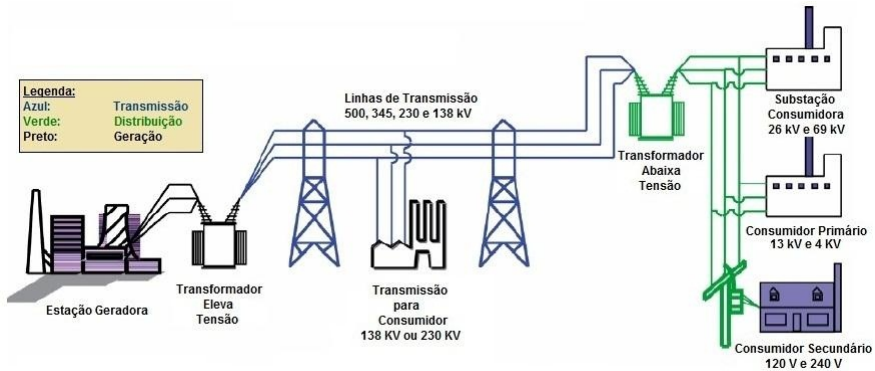


Figura 7 – Estrutura básica de um sistema de transmissão.  
Adaptado de (LEAO, 2009)

em longas distâncias que acabam gerando perdas de energia ao longo do caminho. Para resolver esse problema a solução é elevar a tensão que é inversamente proporcional a corrente elétrica. O nível de tensão utilizado em cada caso de transmissão está ligado a potência a ser transmitida e a distância da usina até o local de consumo da energia elétrica (CAMARGO, 2009).

## 2.4 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de distribuição de energia elétrica se confunde com a topografia das cidades, pois ele é ramificado ao longo de ruas e avenidas para conectar fisicamente o sistema de transmissão aos consumidores finais de energia elétrica.

Os atendimentos destes consumidores finais ocorrem em um ambiente regulado pela ANEEL e é de responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica. Os sistemas de distribuição são formados por redes do tipo aérea (suportada por postes) ou tipo subterrânea (com cabos localizados sob o solo). Como no sistema de transmissão, a distribuição também é composta por cabos condutores, transformadores e outros equipamentos de medição, controle e proteção das redes, com a diferença que o sistema de distribuição é muito mais extenso e ramificado, já que deve chegar a todos os domicílios e endereços dos consumidores finais (ABRADE, 2013).

A Figura 8 ilustra o caminho que a energia elétrica percorre desde a geração até a distribuição para os consumidores finais.



Figura 8 – Caminho percorrido pela energia elétrica desde a fonte de geração até os consumidores finais.

Extraído de (ABRADE, 2013)

## 2.5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

Pode-se chamar de matriz energética toda a energia disponível para ser transformada, distribuída e consumida. Ela é uma representação da quantidade de oferta de energia, ou seja, é quanto um país ou uma região possuem de recursos energéticos para oferecer. Portanto a análise contínua da matriz energética é muito importante para o planejamento do setor energético que deve garantir a produção de energia necessária para atender a demanda dos consumidores.

Apontando dados levantados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) com base no Balanço Energético Brasileiro de 2012 com informações consolidadas de 2011 pode ser observada a contabilização relativa à oferta e consumo de energia elétrica no Brasil. A Tabela 1 ilustra a quantidade ofertada de energia elétrica nos anos de 2010 e 2011, onde é possível notar um leve acréscimo de 3,12 por cento de um ano para o outro (EPE, 2012).

Os principais contribuidores desta quantidade de energia elétrica gerada são as centrais de serviço público, com 85,5 por cento da geração total. Nestas, a principal fonte de geração é a energia hidráulica, a geração elétrica a partir de combustíveis fósseis representou 18,9 por cento do total nacional, contra 21,4 por cento em 2010. A geração de autoprodutores em 2011 apresentou crescimento de 5,5 por cento com

Tabela 1 – Oferta e consumo de energia elétrica no Brasil

Valores em TWh		
	2011	2010
Oferta Total	567,60	550,4
Consumo Final	480,1	464,7
Perdas Comerciais e Técnicas	87,5	85,7
Perdas (Percentuais)	15,4	15,6

relação ao ano anterior, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, as importações de 35,9 TWh somadas a quantidade gerada no país permitiram a oferta de 567,6 TWh (EPE, 2012).

Os autoprodutores de energia elétrica são pessoas físicas ou jurídicas que produzem sua própria energia para consumo através de fontes predominantemente renováveis, como a geração solar, geração eólica, entre outras. Os autoprodutores podem, com a autorização da ANEEL, comercializar o excedente da energia gerada com as concessionárias de energia mediante um empréstimo que posteriormente é convertido em crédito na fatura de energia do consumidor.

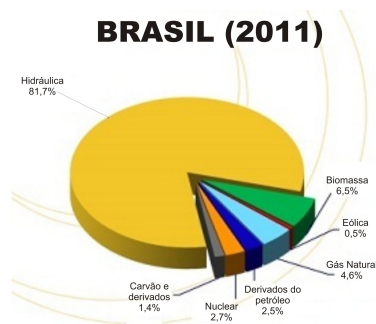


Figura 9 – Matriz energética brasileira.  
Extraído de (EPE, 2012)

A Figura 9 ilustra como está dividida a matriz energética brasileira, observa-se que o Brasil é um país com uma matriz de geração de energia elétrica de origem predominantemente renovável, tendo em vista que a geração interna hidráulica corresponde a 81,7 por cento da

oferta, além de que também se tem pequenos percentuais de outras fontes renováveis como o sol, vento, biomassa, entre outras e somando-se as importações, que também são de fontes renováveis, é possível afirmar que 89 por cento da eletricidade do Brasil é renovável (EPE, 2012).

A Figura 10 demonstra que as fontes renováveis de geração de energia vem aumentando na matriz energética nacional, atingindo um patamar de 88,9 por cento do total da geração de energia. Este fato faz com que o Brasil seja o país que mais gera energia através de fontes renováveis, vindo ao encontro do processo de sustentabilidade que todo o mundo almeja.

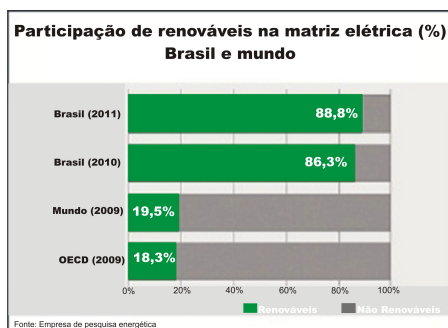


Figura 10 – Participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica.

Extraído de (EPE, 2012)

## 2.6 ORGANIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

A reformulação do setor elétrico brasileiro iniciou-se no ano de 1995 com a aprovação da lei 8987 que ficou conhecida como a Lei de Concessões dos Serviços Públicos, a qual estabeleceu junto com a lei 9074 as bases para um modelo institucional do setor elétrico. No ano seguinte foi criada a ANEEL com o objetivo de regulamentar e fiscalizar a produção, transmissão e distribuição da energia elétrica. No ano de 1998 ocorreu a criação do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) que tem como função promover o aproveitamento racional da energia, efetuar a proteção ao consumidor em termos de preço, qualidade e oferta de produtos, o estímulo do uso de fontes renováveis de energia e promover a livre concorrência (ONS, 2013).

As Seções 2.6.1 e 2.6.2 descreverão em detalhes o funcionamento do setor elétrico brasileiro.

### **2.6.1 Operador Nacional do Sistema Elétrico e o Sistema Interligado Nacional**

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é responsável pelo controle da geração e transmissão da energia elétrica do sistema interligado nacional (SIN) e é fiscalizado pela ANEEL. Ele é responsável pelos estudos e ações sobre o sistema visando a garantia do suprimento contínuo em todo o país, além de que ele deve garantir o livre acesso à rede de transmissão de forma não discriminatória, efetua a otimização da operação do sistema elétrico, fazendo o planejamento e a programação da operação e o despacho centralizado da geração. (ONS, 2013).

O SIN tem como função principal a garantia do fornecimento de energia elétrica continuamente aos consumidores finais. Para isso ele conta com a interligação das redes de transmissão em território nacional, que possibilita a alteração da fonte de energia. Como exemplo pode-se citar a ocorrência de um defeito em um determinado ponto de uma linha de transmissão que ocasione a interrupção do fornecimento de energia elétrica, neste caso existe um outro caminho através de uma outra linha de transmissão que garantirá a continuidade do fornecimento aquela área afetada. Isto demonstra a importância da existência da redundância das conexões de redes elétricas em todo o território nacional. A Figura 11 ilustra a estrutura do SIN.

### **2.6.2 Estrutura do Sistema de Transmissão Brasileiro**

O sistema de transmissão brasileiro é dividido entre grandes empresas e o governo federal que gerenciam o setor, neste cenário pode-se citar a Eletrobrás que controla quatro grandes estatais (Eletrosul, Furnas, Eletronorte e Chesf) que efetuam o transporte da maior parte da produção de energia nacional e também são responsáveis pela produção e transmissão de quase toda a produção nacional e ainda executam a tarefa de interligações regionais nos pontos necessários (CAMARGO, 2009).

Atualmente a rede de transmissão no Brasil possui mais de 100 mil Km de extensão. A grande extensão se explica devido a grande



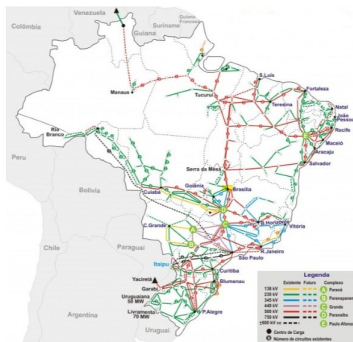


Figura 11 – Mapa do sistema interligado de energia elétrica no Brasil.  
Extraído de (ONS, 2013)

área geográfica que nosso país possui e pelas características da sua hidrografia. Sendo que as maiores usinas hidrelétricas do país estão situadas a distâncias consideráveis dos centros de carga.

Hoje as empresas do grupo Eletrobrás possuem cerca de 59 mil Km de linhas de transmissão, isto considerando a rede básica que é formada por sistemas de alta tensão de 23 quilo Volt (kV) ou mais e as outras classes de redes de transmissão que operam nas faixas entre 69 e 138 kV.

Até 1999 o Brasil possuía dois subsistemas de transmissão independentes, o Sul-Sudeste-Centro-Oeste e o Norte-Nordeste. Fato que limitava a possibilidade de interligações ente regiões que poderiam proporcionar uma operação mais eficiente. Atualmente estes subsistemas estão interligados o que proporciona a contínua e permanente troca de energia entre todas as regiões, além de possibilitar uma operação flexível e segura das instalações componentes do SIN(BRASIL, 2013b).



### 3 REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

Este capítulo aborda as definições do termo *Smart Grid*, com estudos de casos no Brasil e no exterior. Define os termos de medição inteligente e geração distribuída abordando as vantagens e desvantagens deste novo modelo de geração de energia elétrica.

#### 3.1 DEFINIÇÕES

O termo *Smart Grid*(SG) foi mencionado pela primeira vez em 2005 no artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg (AMIN; WOLLENBERG, 2005).

Desde então surgiram várias definições para o termo, dentre elas a de que o SG pode ser conceituado como a modernização dos sistemas de eletrificação visando o monitoramento, proteção e otimização de maneira automática, utilizando-se de sensores e outros equipamentos que coletam informações em tempo real e transmitem as mesmas através do uso das mais diversas tecnologias de transmissão de dados existentes como por exemplo o sistema de PLC (*Power Line Communication*) que utiliza a própria rede de energia elétrica para enviar as informações (No anexo C será brevemente descrito o funcionamento desta tecnologia). Além de que também pode ser empregado comunicação a partir dos sistemas de telefonia ou então pela internet (MME, 2010).

Também conhecida como redes elétricas inteligentes, podem ser compreendidas como redes de energia elétrica que utilizam as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para gerenciar e monitorar o transporte da energia elétrica em tempo real com um fluxo de informações e energia bidirecionais entre os consumidores finais e o sistema de fornecimento de energia (ESTRATEGICOS, 2012) (SINHA et al., 2011).

A Figura 12 exemplifica o conceito do termo SG, identificando as conexões entre todos os agentes no sistema elétrico.

O SG é antes de tudo uma quebra de paradigma na forma de como se lidar com os sistemas de distribuição. As novas tecnologias que possibilitam a automação das redes de distribuição que tornam-se capazes de informar seus dados e atuar automaticamente se necessário em forma coordenada, as medições inteligentes que fornecem os dados das unidades consumidoras remotamente, dos controles de cargas de GD e outras funções agora disponíveis com o avanço da tecnologia ge-



Figura 12 – Esquema de funcionamento de um *smart grid*.  
Extraído de (MME, 2010)

ram uma necessidade de que seja repensado a modelagem da estrutura de gestão nos sistemas de distribuição (TOLEDO, 2012).

### 3.2 BENEFÍCIOS DO SMART GRID

A pesquisa e desenvolvimento de SG tornará possível ao consumidor uma interação ativa na gestão da energia elétrica consumida e também permitirá as concessionárias avaliar os benefícios e as demandas durante o processo de adaptação desta nova realidade (TOLEDO, 2012).

De acordo com (LOPES, 2010) as concessionárias terão vários benefícios econômicos, pois poderão ter uma maior eficiência na exploração das redes e a redução os custos da gestão comercial da venda de eletricidade.

Com esta nova tecnologia é possível detectar uma possível fraude nas unidades consumidoras com uma maior eficiência, uma vez que existe uma comunicação contínua de dados entre concessionária e unidade consumidora. O SG possibilita serviços remotos como a suspensão de fornecimento e o auto-restabelecimento nas redes de distribuição (NEWS, 2013).

Do lado dos consumidores pode-se citar a possibilidade de uma participação ativa onde os mesmos poderão acompanhar seu consumo de forma mais detalhada e com isso poderão tomar ações de comporta-

mento que resultarão em uma economia de energia. Os consumidores poderão monitorar as tarifas de energia que lhe serão oferecidas e direcionar a maior parte de seu consumo para horários em que a tarifa estiver mais barata.

### 3.3 CENÁRIO INTERNACIONAL

Segundo (TOLEDO, 2012), atualmente o SG e seus componentes são um dos temas mais discutidos mundialmente, sendo que existem diversas iniciativas que estão sendo adotadas, em sua maioria distintas umas das outras, até mesmo dentro de um mesmo país encontram-se modelos de implementação diversificados, como exemplo citam-se os Estados Unidos que possuem uma estruturação do setor elétrico diferenciada do padrão brasileiro.

No cenário norte americano a partir de 2009 houve um impulso gigantesco na implementação do SG, o governo disponibilizou um montante de 3,4 bilhões de dólares para projetos desta área.

Porém uma considerável parte deste investimento foi destinado a soluções de GD e armazenamento local, uma vez que a fonte de geração americana baseia-se em fontes não-renováveis como termelétricas e usinas nucleares.

Como destaque na implementação de SG nos Estados Unidos pode-se citar um processo de padronização desenvolvido pelo *Electric Power Research Institute* (EPRI). Esta iniciativa está desenvolvendo uma arquitetura chamada de *Intelligrd*, que trata de um padrão aberto, que baseia-se em requisitos de abordagem para a integração de redes de equipamentos e dados e tornam possível a interoperabilidade entre os produtos e sistemas. Diversas distribuidoras americanas já utilizam esta arquitetura. A Figura 13 ilustra o formato da arquitetura Inteligrd (HUGHES, 2006).

A arquitetura exposta pela Figura 13 demonstra a interligação de todo o sistema elétrico a uma central que tem a função de coletar e interpretar os dados e repassar ao setor ou local que busca estas informações. Nota-se a integração de todo o cenário apresentado, desde a geração de energia elétrica até os consumidores finais, tornando possível a interação e troca de informações em tempo real entre todos os membros envolvidos.

De acordo com (TOLEDO, 2012) o mercado europeu também tem se destacado no investimento em SG e GD. Um dos projetos que merece destaque é a implantação de mais de 30 milhões de medidores intelligen-



Figura 13 – Visão geral da arquitetura intelligríd.  
 Extraído de (HUGHES, 2006)

tes na Itália, passo importantíssimo na estruturação do setor elétrico para a convergência para o SG, pois a instalação deste tipo de medidor é um dos requisitos para se beneficiar dos recursos das redes inteligentes, já que os medidores não apenas enviarão dados sobre o consumo, mas também uma série de informações sobre o comportamento da energia elétrica nas unidades consumidoras e também enviarão informações da concessionária para o consumidor. Ou seja, passará de um simples canal unidirecional para um fluxo bidirecional de informações.

Outros fatores que vêm contribuindo com o acréscimo de investimento na área de SG é a pressão da população referente a desativação das usinas nucleares, isto criou uma necessidade de investimentos em geração de energia elétrica através de uso de fontes renováveis. A redução de custos operacionais e o alto desempenho também são considerados marcos de motivação para implementação de tal tecnologia.

### 3.4 CENÁRIO NACIONAL

No Brasil, devido a sua extensão territorial e das diferentes densidades demográficas, as realidades são bastante diferenciadas. Como exemplo pode-se citar que algumas concessionárias sofrem com altos índices de inadimplência e perdas não-técnicas na região em que atendem, enquanto outras concessionárias não possuem este problema, porém atendem regiões com baixa concentração de clientes. Segundo (TOLEDO, 2012) a tecnologia das redes inteligente não devem ser copiadas dos outros países, mas sim adaptada a realidade dos diferentes cenários encontrados no país.

Não existe regulamentação para a implementação de SG em vigor no Brasil, porém de acordo com o (MME, 2013) criou-se em 2010 um grupo de trabalho com o objetivo de identificar e analisar as ações necessárias dentro do cenário nacional para a implementação de um programa nacional de SG. Este grupo de trabalho elaborou um plano nacional de migração da tecnologia do setor elétrico brasileiro para a adoção das redes elétricas inteligentes. Este estudo foi concluído em 2011 e contou com a colaboração das grandes concessionárias associadas a ABRADE.

A conclusão que o grupo de trabalho chegou é de que será necessário que seja realizado experimentos práticos para dar subsídios as tomadas de decisão em relação a implantação do SG no Brasil.

### 3.5 MEDIÇÃO INTELIGENTE

Segundo (VIEIRA; GRANATO, 2011) no contexto da distribuição de energia elétrica fazem parte do conceito de medição inteligente os medidores que possuem a capacidade de processar, armazenar e se comunicar. Devem possuir uma bidirecionalidade entre os medidores e o centro de controle de medição e também deverá existir softwares que tornem possíveis a aquisição automática de dados do medidor em intervalos de tempo pré-programados.

Para ser considerado um medidor inteligente o mesmo deverá possibilitar o envio de dados remotamente e deverá proporcionar a gerência do sistema, propiciando atividades de gestão de ativos, segurança e análise de dados. O conceito de inteligência está ligado no fato de o medidor ter se tornado parte de um nó computacional. A Figura 14 ilustra o funcionamento de uma medição inteligente.

Para a melhor compreensão do assunto será descrito a seguir alguns termos relacionados a evolução da medição inteligente.

- Leitura automática do medidor ou *Automated Meter Reading* (AMR): trata-se de um sistema capaz de realizar leituras automáticas dos medidores coletando dados (como por exemplo consumo), podendo ser um medidor eletrônico ou eletromecânico capaz de efetuar transferência dos dados ao Centro de Comando da Medição por meio de uma comunicação unidirecional. Utilizado na década de 80 era focado na leitura remota de medidores (VIEIRA; GRANATO, 2011).
- Infraestrutura de medição avançada (AMI): integra equipamen-

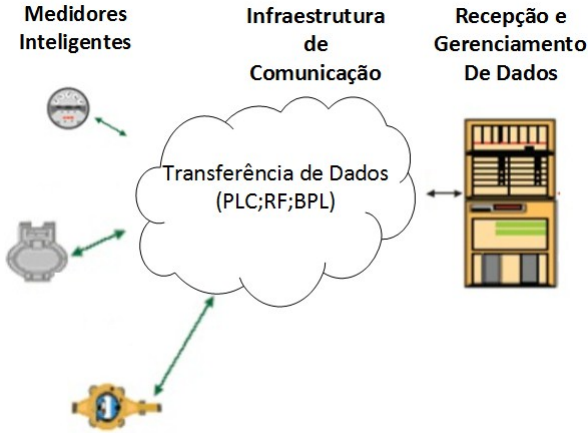


Figura 14 – Esquema geral de uma medição inteligente.  
Adaptado de (VIEIRA; GRANATO, 2011)

tos de medição que suportam comunicação bidirecional e sistemas que possibilitam o registro, armazenamento e tratamento de um conjunto de medidas de energia elétrica e de qualidade da rede. Quando integrada com os sistemas comerciais e técnicos, a plataforma AMI constitui um dos alicerces principais de uma SG (HART, 2008).

- Gerenciamento do Medidor Avançado ou *Advanced Meter Management* (AMM): é uma plataforma para gerenciamento de medidores inteligentes dispostos em redes de comunicação. Efetuam leitura dos perfis de carga em intervalos de tempo menores que uma hora. Atuam como gerenciadores dos medidores, porém, o AMM não armazena os dados coletados pelo medidor, apenas transmitem ao gerenciador de dados do medidor (MDM) (VIEIRA; GRANATO, 2011).
- Gerenciamento de Dados do Medidor ou *Meter Data Management* (MDM): baseia-se no processamento e gerenciamento dos dados gerados pelos medidores e o registro de informações complementares a fim de aperfeiçoar processos das unidades consumidoras como a eficiência operacional, serviços ao consumidor, previsão de demanda de energia, gerenciamento do sistema de distribuição, gestão de fraudes, gestão de demanda, dentre outros.



### 3.6 CIDADES INTELIGENTES

Com o crescimento da população mundial e com o avanço da tecnologia que a cada dia se torna mais necessária na vida das pessoas em uma época onde os recursos naturais estão ficando cada dia mais escassos, tornou-se necessário que as cidades passassem a ter uma estrutura organizacional cada vez mais elaborada, abrangendo o crescimento territorial de maneira estratégica. Também, tornou-se necessário a implementação de políticas de acesso a informação visando um crescimento consciente e sustentável, foi a partir dessa necessidade que surgiram as cidades inteligentes.

De acordo com (SERRANO; NETO, 2005) com o nível de exigência e de competitividade cada vez mais elevado no mundo é recomendado que as cidades se tornem regiões de conhecimento, ou seja, elas devem tornar possível a adoção e promoção de aprendizagem contínua e criação territorial cada vez mais sustentável.

As cidades inteligentes podem ser definidas como um conjunto de ambientes inteligentes, essa inteligência se dá pela integração das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) que possibilitam a criação de ambientes interativos, que proporcionam a comunicação entre todos os meios físicos das cidades. São cidades que buscam nas TICs alternativas para transformar a vida e o trabalho de forma significativa (STEVENTON; WRIGHT, 2006).

Segundo (ROVER; GALINDO, 2010) as também chamadas *Smart Cities* investem nas TICs para facilitar a vida da população, aprimorando conveniências, facilitando a mobilidade, conservando energia, melhorando a qualidade da água e do ar com o auxílio de tecnologias que reduzem a poluição, e ainda coletando dados da cidade de maneira contínua para obter uma tomada de decisão mais adequada e para tornar a destinação de seus recursos mais ágil e eficiente.

Como exemplo de aplicação de projetos relacionados a cidades inteligentes pode-se citar a cidade de Amsterdã que tem como objetivo tomar ações em quatro áreas que são: habitação, mobilidade, trabalho e espaços públicos visando uma cidade mais sustentável e energeticamente eficiente (PCS, 2013). Dentre os objetivos destacam-se a conexão de 33,3 por cento da cidade a uma rede de dados, elaboração de um sistema de neutralização de impactos ambientais, busca de fontes renováveis de geração de energia e redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

Um exemplo no cenário nacional é a cidade de Armação do Búzios no Rio de Janeiro, que foi projetada para se tornar referência em consumo eficiente de energia elétrica. Este projeto foi iniciado em 2011

através da concessionária ENDESA e sua distribuidora Ampla. Neste projeto está previsto obras que converterão a rede existente de distribuição de energia para o SG tornando a integração da geração existente mais eficiente e controlada. Também serão instalados os *smart meters* e outros equipamentos de automação da rede elétrica, que reduzirão as perdas de energia e elevarão os níveis de qualidade dos serviços oferecidos aos clientes desta cidade.

A mudança da infraestrutura do município também proporcionará o consumo inteligente, repassando aos cidadãos a conscientização sobre o uso responsável da energia, o que contribuirá com a redução de emissão de CO<sub>2</sub> no meio ambiente (JANEIRO, 2013).

Uma cidade inteligente orienta o crescimento econômico sustentável e busca a prosperidade para seus habitantes. Para isto ela deve cumprir um ciclo de modernização dentro das áreas consideradas críticas no que diz respeito a tomada de decisão. Uma cidade inteligente deve prover dados que possibilitem a simulação de situações adversas a normalidade, para que seja estudado cada caso e para que possa ser criado um plano de ações que possivelmente implantará medidas para que tais situações não venha a ocorrer ou então ao menos poderá ser reduzido os efeitos destas adversidades. Além disso, torna-se necessário a interligação de todas as partes e serviços da cidade com o objetivo de se estabelecer um link de comunicação entre toda a estrutura da cidade, o que possibilita uma visão estratégica e globalizada para os administradores estabelecerem os métodos de planejamento e gerenciamento da cidade (GAMA; ALVARO; PEIXOTO, 2012).

A Figura 15 ilustra o ciclo da estrutura de uma cidade inteligente.



Figura 15 – Ciclo Estrutural de uma cidade inteligente.  
Extraído de (CITTÀ, 2013)

### 3.7 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é um bem essencial na vida das pessoas e tem um papel importantíssimo no processo de desenvolvimento socioeconômico, tanto nas indústrias, auxiliando no aumento da demanda e melhoria da qualidade da produção, quanto nas residências dos consumidores proporcionando uma melhor qualidade de vida.

Com o crescimento exponencial da população mundial e com o avanço das tecnologias uma maior demanda é exigida do sistema elétrico. Com o aumento da demanda torna-se necessário o investimento por parte das concessionárias em linhas de transmissão e redes de distribuição, além da exigência de uma maior capacidade de geração.

Diante desta realidade tornou-se necessário o uso de novas tecnologias de geração de energia como as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), geração eólica a partir de aerogeradores e geração de energia solar que geralmente se encontram próximos aos centros de carga. Estas alternativas são conhecidas como Geração Distribuída de energia elétrica (GD).

#### 3.7.1 Conceitos de Geração Distribuída de Energia Elétrica

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) define o conceito de geração distribuída como uma pequena unidade de geração que possa ser conectada ao sistema de distribuição e que se encontre próximo ao centro de carga (LORA; HADDAD, 2006).

Segundo o (INEE, 2013) a GD é uma expressão usada para identificar e classificar a geração elétrica que esta próxima ao consumidor, independente da fonte de energia, potência instalada ou tecnologia aplicada.

A legislação brasileira define a GD através do Decreto número 5.163, de 30 de julho de 2004 (Um resumo desta resolução encontra-se no Anexo A). O mesmo considera a GD como sendo uma produção de energia que advém de concessionárias, permissionárias ou autorizadas pelos agentes regulatórios, fontes de geração conectadas ao sistema elétrico de distribuição. Este decreto não considera os empreendimentos hidrelétricos com capacidade superior a 30 KW e sistemas termelétricos com eficiência energética inferior a 75 por cento como fontes de GD. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustíveis são considerados fontes de GD (BRASIL, 2013a).

### 3.7.2 Mercado da Geração Distribuída

O artigo 15 do decreto 5.163 indica a possibilidade da venda de energia a partir da GD que pode ser feita por intermédio do agente distribuidor a qual está conectado. Define que o distribuidor poderá vir a contratar energia elétrica gerada pelos empreendimentos de GD, desde que o montante contratado não ultrapasse 10 por cento da carga atual da distribuidora, sendo que a aquisição deve ser precedida de chamada pública que deve ser promovida pelo distribuidor (BRASIL, 2013a).

Segundo (RODRIGUES; BORGES; FALCÃO, 2007) a GD pode também participar como agente gerador de energia elétrica em leilões de energia, estes regulados e promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com a devida autorização da ANEEL. Pode também existir comercialização direta entre os empreendimentos de GD e consumidores livres e comercializadores de energia elétrica.

Como já mencionado anteriormente quando considera-se a GD como unidade de geração que está conectada a rede de distribuição a sua localização é sempre próxima aos centros de carga. Portanto pode vir a ser utilizada para suprir o autoconsumo das indústrias, comércios e residências, que contam ou não com produção de energia excedente que podem ser exportadas a rede. Ainda podem ser utilizadas paralelamente ao sistema de distribuição, onde podem vir a atender as unidades consumidoras em um momento de falha do sistema tradicional ou até mesmo podem suprir o aumento de demanda de consumidores industriais que não estavam previstas pelas concessionárias. A Figura 16 exemplifica a utilização de GD conectadas ao sistema elétrico.

O Procedimento de Distribuição (PRODIST), que foi publicado pela ANEEL em 2008, indica no módulo 3 as devidas faixas de potência que as centrais geradoras devem seguir de acordo com o nível de tensão das linhas de distribuição, possibilitando a conexão da GD e estabelecendo as proteções mínimas necessárias. A Tabela 2 demonstra esses níveis (ANEEL, 2013a).

## 3.8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GD

Segundo (CARDOSO, 2009) a geração em uma escala menor proporciona um aumento na reserva de potência em menores espaços de tempo se forem comparados a empreendimentos maiores, assim favorece a segurança do fornecimento da energia elétrica. Além de que os

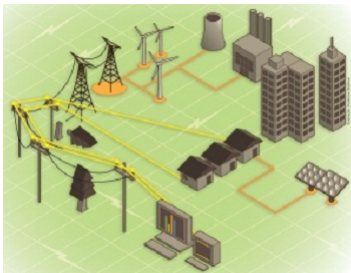


Figura 16 – Exemplo de geração distribuída conectada a rede de distribuição de energia elétrica.

Extraído de (ROCHAS, 2009)

Tabela 2 – Faixa de potência conforme os níveis de tensão da rede distribuição.

Níveis de Tensão	Potência Instalada
Baixa Tensão (Rede Monofásica)	menor que 10KW
Baixa Tensão (Rede Trifásica)	10 a 75 KW
Média Tensão	76 a 500 KW
Alta Tensão	501 KW a maior ou igual a 30 MW

Adaptado de (CARDOSO, 2009).

benefícios proporcionados pela GD vão além do setor elétrico, proporcionando benefícios a sociedade, meio ambiente e aos consumidores que querem investir na GD.

Segundo (GUEDES, 2006) pode-se citar como destaques da GD a redução de custos com o transporte de energia, uma vez que as unidades de GD estão instaladas próximas aos centros de carga, o tempo de instalação e os riscos em um investimento de GD que são inferiores aos mesmos custos de empreendimentos de geração convencional. Também pode-se citar o fato que ela pode ser utilizada para o atendimento de aumento de carga dos consumidores, aumentam a confiabilidade, reduzem as perdas técnicas do sistema elétrico e são consideradas fontes renováveis o que diminui o impacto ambiental.

Apesar de a GD apresentar diversas vantagens ao sistema de distribuição, ela também pode acarretar em desvantagens, das quais destaca-se o aumento da complexidade de despacho da energia; alteração nos procedimentos de operação, controle e proteção das redes;

interrupção ou sazonalidade na geração, dependendo do tipo empregado; fluxo de corrente bidirecional nas linhas dado que com a utilização da GD as redes passem de passivas para ativas e dificuldade no controle da tensão (GUEDES, 2006).

### 3.9 CONEXÃO ENTRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo (CARDOSO, 2009) a GD oferece diversos benefícios, porém sua interligação com a rede de distribuição de energia elétrica exige que seja feita uma reestruturação do sistema, pois atualmente ele está projetado para a proteção em um sentido de fluxo de potência único enquanto diversas tecnologias aplicadas na GD diferem das tecnologias adotadas pelo setor elétrico brasileiro.

As usinas geradoras centralizadas usam geradores síncronos, ao tempo em que a GD utiliza tanto máquinas síncronas, como também fazem uso de máquinas assíncronas para o fornecimento de energia. Nas micro gerações de GD a energia é produzida em corrente contínua, o que exige a necessidade da instalação de conversores adequados para estabelecer a conexão com a rede elétrica que possibilitem o atendimento aos critérios técnicos estabelecidos pela legislação ou normas das concessionárias.

Além da variedade tecnológica apresentada, observa-se que ainda existem outras variáveis envolvidas na conexão da GD à rede de distribuição, o que torna necessário que exista uma análise mais crítica e complexa do planejamento e operação para que se possa atender as características de operação estabelecidas pelo setor elétrico brasileiro. Outro fator é a complexidade do Sistema Interligado Nacional (SIN) que exige uma série de cuidados específicos independentemente das regras estabelecidas em outros países, uma vez que o sistema brasileiro é de grande porte e de alta complexidade (CARDOSO, 2009).

Além dos fatores de complexidade e extensão do sistema, outra característica que vale ressaltar, é a estrutura do SIN que permite apenas um erro ou falha, onde um problema local pode propagar-se pelo sistema interligado e pode atingir todas as instalações do país e ocasionar um problema de porte nacional gerando um *blackout* (MONTICELLI; GARCIA, 2000).

De acordo com (SILVA, 2002) a partir desse contexto se pode observar que o setor ainda precisa de padronizações e de regras para a conexão da GD com as redes das concessionárias.

## 4 METODOLOGIA PARA CONTABILIZAÇÃO DA GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo descreve uma arquitetura para geração e distribuição de energia elétrica que servirá como base para a validação da metodologia de contabilização de geração e consumo de energia elétrica em SGs. O capítulo também aborda o conceito de subestação de bairro e o processo de negociação do excedente de energia elétrica gerado pelas unidades consumidoras.

### 4.1 ARQUITETURA PARA GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Com base nos estudos realizados sobre a legislação vigente e dos temas que envolvem a autoprodução de energia elétrica e a geração distribuída constata-se que no Brasil ainda não houve uma evolução tecnológica e processual neste mercado. A falta de padronização e de legislação específica dificulta o desenvolvimento desta nova realidade de autogeração da energia elétrica, pois não deixa claro a forma de controle e quais os métodos que deverão ser utilizados para a contabilização desta energia que será gerada pelo consumidor e utilizada para consumo próprio e para possíveis atendimentos as concessionárias.

Diante deste cenário propõe-se a criação de uma arquitetura que possibilite o controle da geração, do consumo e da distribuição de energia elétrica. A arquitetura descrita nesta seção será a base para a aplicação da metodologia de contabilização da geração e do consumo de energia elétrica em um smart grid. A Figura 17 apresenta a arquitetura proposta.

A arquitetura sugere o uso da estrutura da rede de distribuição existente, adaptando a mesma para receber e gerenciar a energia proveniente de autoprodutores. Tal fato será possível com a criação do conceito de subestações de bairros.

Esta arquitetura apresenta uma nova visão da estrutura de uma cidade em relação a estrutura de distribuição de energia elétrica. Esta visão se dá com a divisão dos bairros das cidades em células que terão em sua estrutura uma quantidade de consumidores de acordo com a densidade geográfica da região.

As subestações de bairro são atendidas por meio do fornecimento das concessionárias por linhas de transmissão e são responsáveis pelo

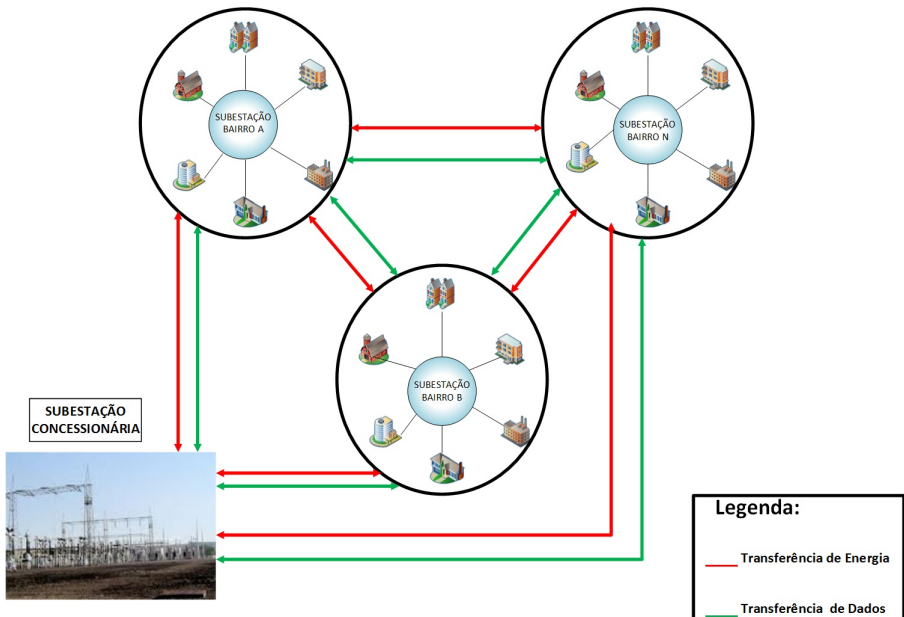


Figura 17 – Arquitetura proposta para o controle da geração e do consumo de energia elétrica em um smart grid.

gerenciamento e as negociações de todo o excedente de energia dos autoprodutores de energia elétrica.

As subestações de bairro também terão a responsabilidade de estabelecer comunicação entre elas mesmas e os consumidores de energia. Isto será possível com o uso de medidores que utilizam a tecnologia PLC (*Power Line Communication*).

Por meio da comunicação com as unidades consumidoras, as subestações terão dados disponíveis referente a potência instalada, geração e consumo de energia elétrica de cada unidade consumidora que estão conectadas a ela e poderão avaliar quais as unidades que possuem energia excedente disponível para fornecimento em caso de apagões. Além



disso, também está previsto uma interligação entre as subestações de bairro, tornando possível a passagem de energia excedente de uma subestação para outra. Esse sistema estará interligado com a subestação da concessionária que terá relatórios atualizados em tempo real sobre o consumo e a geração de energia elétrica em cada subestação de bairro.

A Seção 4.2 descreve em detalhes a arquitetura e as funcionalidades da subestação de bairro e a Seção 4.3 descreve como se dá as negociações de excedente de energia elétrica em casos de falha do fornecimento da concessionária.

## 4.2 SUBESTAÇÃO DE BAIRRO

As subestações de bairro são responsáveis pelo recebimento e redistribuição da energia elétrica proveniente da concessionária aos consumidores conectados a ela. São dotadas de um sistema de comunicação com os consumidores que utiliza vários medidores inteligentes baseados na tecnologia PLC para receber e enviar dados dos/para os consumidores. Com base nestes dados a subestação sabe em tempo real qual a quantidade consumida e gerada de energia elétrica dos consumidores ligados a ela.

A subestação possui uma estrutura de comunicação que possibilita a transferência de dados e de energia elétrica entre as outras subestações, sendo possível a procura de outra fonte de alimentação a seus consumidores em um momento de falha da rede da concessionária. Para tanto, possui um sistema de chaveamento elétrico que determina a origem da fonte de fornecimento de energia elétrica.

Na Figura 18, que ilustra a arquitetura da subestação de bairro, observa-se a existência de dois canais de comunicação entre a concessionária e a subestação de bairro. O primeiro é utilizado para transmissão de dados e o segundo para a transferência de energia elétrica. Também é possível perceber a interligação de todas as unidades consumidoras à subestação, tornando possível a interação direta entre concessionária, subestação de bairro e consumidores.

Todo o tráfego de informações fica registrado no servidor de banco de dados da subestação de bairro que repassa a concessionária todo o fluxo de informações que ocorre em seu sistema.

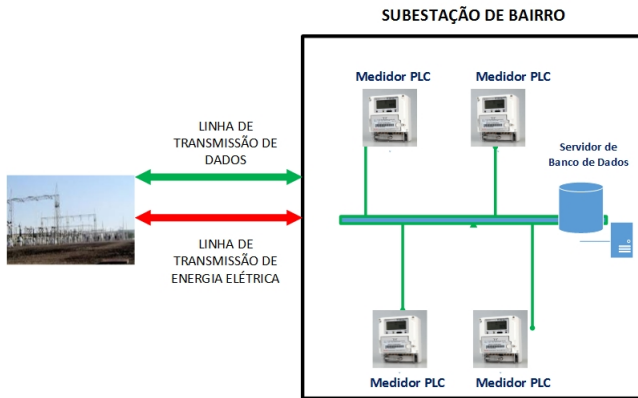


Figura 18 – Arquitetura subestação de bairro.

#### 4.3 ESTRUTURA DAS NEGOCIAÇÕES DE EXCEDENTE DE ENERGIA ELÉTRICA

A arquitetura proposta neste trabalho não tem a intenção de substituir a fonte da distribuição de energia elétrica que são as concessionárias de energia, mas tem por objetivo possibilitar o aproveitamento da energia excedente que origina-se dos consumidores autoprodutores de energia elétrica.

A metodologia apresentada sugere uma possível alternativa para as concessionárias poderem atender o sistema de compensação de energia criado pela Resolução 482/2012 da ANEEL, que estabelece um regime de crédito na fatura de consumidores que possuem geração de energia elétrica própria. Os autoprodutores, como também são conhecidos, passarão a ter a opção de despachar o excedente de sua geração na rede da concessionária a título de empréstimo e posteriormente deverão ter um crédito em kWh na mesma quantidade de energia excedente que foi cedida para a concessionária (ANEEL, 2013b).

Para atender o que estabelece a Resolução 482/2012 deve existir uma negociação de excedente de energia elétrica nos momentos em que vierem ocorrer possíveis falhas na rede da concessionária que levem a interrupção do fornecimento das subestações de bairro. Estas inter-

rupções farão com que a subestação de bairro busque alternativas para atender as demandas de energia dos consumidores ligados a ela a partir do uso de excedentes de geração de energia elétrica. A energia excedente poderá ser negociada com as unidades consumidoras da seguinte maneira:

1. A partir do excedente de geração da própria subestação que teve o fornecimento suspenso pela concessionária.
2. Negociando o excedente de geração de uma outra subestação que possa atender integralmente a demanda da subestação que sofre a falha de fornecimento.
3. Negociando o excedente de geração com mais de uma subestação que atenda o saldo da subestação onde ocorreu a falha.
4. Negociando o excedente de geração visando atender as prioridades da subestação que teve o fornecimento interrompido.

A seguir serão descritas em detalhes as 4 (quatro) maneiras possíveis de negociação de energia elétrica na metodologia proposta.

Em um determinado instante de tempo quando uma subestação de bairro tiver seu fornecimento de energia elétrica suspenso devido a alguma falha na rede da concessionária, ela buscará alternativas que possam garantir o atendimento dos consumidores a ela conectados. Estas alternativas são:

- **uso do excedente de energia gerada pelas unidades consumidoras da própria subestação:** a subestação irá verificar se ela mesma pode atender todos os seus consumidores utilizando apenas o excedente da geração de energia elétrica oriundo dos próprios consumidores a ela conectados. Uma vez identificado que é possível manter o funcionamento a partir do próprio excedente de geração de seus consumidores, será gerado um crédito na fatura dos consumidores, equivalente ao que foi injetado por estes à rede.
- **uso do excedente de outra subestação:** no momento em que a subestação de bairro tiver problemas com o fornecimento da concessionária e verificar que seu saldo de geração não é suficiente para suprir a necessidade de seus consumidores, estabelecerá comunicação com outras subestações que possuam um saldo de geração líquido positivo<sup>1</sup> visando averiguar se este saldo é maior

---

<sup>1</sup>Calculado a partir da diferença do consumo pela geração de energia elétrica.

que o seu consumo líquido. Se for identificado a existência de alguma subestação que tenha capacidade para atender seu consumo naquele instante, será solicitado o envio do excedente da energia elétrica produzida pelos consumidores conectados aquela subestação que então registrará em seu banco de dados a identificação e a quantidade de energia que está sendo injetada na rede para ser creditada na fatura dos consumidores com saldo de geração positivo.

- **uso do excedente de mais de uma subestação de bairro:** se a subestação não encontrar outra com um saldo líquido maior que seu consumo, ela irá verificar se existe a possibilidade de garantir o atendimento de seus consumidores a partir do uso do excedente de mais de uma subestação. Para tanto será verificado o saldo líquido das subestações vizinhas a fim de localizar duas ou mais subestações que tenham energia excedente em quantidade superior ao seu consumo líquido. Desta forma, será solicitado o envio do excedente gerados por estas subestações para suprir a demanda durante o período de falha. A partir do momento do envio da energia excedente também será armazenado em um arquivo do banco de dados a identificação e a quantidade de energia que está sendo injetada na rede pelos consumidores que passarão a atender a subestação solicitante.
- **uso do excedente de uma ou mais subestações para atender algumas prioridades:** é possível que a subestação que está solicitando excedente de outras subestações não encontre nenhuma que possa atender integralmente seu consumo. Neste caso, a subestação avaliará a possibilidade do atendimento parcial, ou seja, de apenas alguns consumidores que prestam serviços considerados essenciais à população, tais como hospitais, unidades de pronto atendimento e corpo de bombeiros. Será calculada a necessidade efetiva das prioridades para então localizar uma ou mais subestações que possam atender a essa demanda.

A metodologia proposta visa contribuir com o modelo de compensação e créditos definido na Resolução 482/2012. Entretanto, as concessionárias deverão alterar o modelo de fatura de energia elétrica. O novo modelo de fatura deverá apresentar dados adicionais relativos a geração e distribuição de energia elétrica efetuada pelos consumidores, bem como deve detalhar a quantidade de crédito em kWh que o consumidor possui acumulado na concessionária e a quantidade de créditos

e o prazo de uso que, segundo a Resolução 482/2012, é de 36 meses subsequentes ao faturamento que se deu a geração e empréstimo do excedente de energia elétrica.



## 5 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Este capítulo apresenta alguns resultados obtidos a partir da simulação da arquitetura de geração e distribuição de energia elétrica e a metodologia de contabilização de geração e consumo de energia apresentados no Capítulo 4.

### 5.1 DEFINIÇÕES PRELIMINARES

Devido a inexistência de um programa de computador que pudesse ser utilizado para simular a arquitetura proposta neste trabalho, foi necessário o desenvolvimento de um simulador em linguagem C para a obtenção de dados que pudessem comprovar a viabilidade da metodologia apresentada para a contabilização da geração e do consumo de energia elétrica em *smart grids*.

Na simulação foram definidas 5 (cinco) subestações de bairro e 100 unidades consumidoras vinculadas de maneira aleatória entre as subestações. Os dados referentes ao consumo e a geração de energia elétrica dos consumidores foram produzidos a partir de valores aleatórios limitados à potência instalada do consumidor. Os dados das unidades consumidoras estão listados na Tabela 12 no Anexo B.

Foram realizadas o equivalente a 100 (cem) horas de geração e consumo de energia elétrica no simulador. Com os resultados da simulação foi possível avaliar as 4 (quatro) formas de negociação descritas na Seção 4.3 do Capítulo 4.

#### 5.1.1 Análise dos Resultados da Simulação

Durante a simulação algumas subestações de bairro sofreram interrupção no fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária. A Tabela 3 lista as subestações e os respectivos tempos em que estas tiveram interrupção de fornecimento de energia.

As Seções 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4 e 5.1.5 descrevem o processo de negociação do fornecimento de energia elétrica entre as subestações de acordo com as regras definidas na Seção 4.3 do Capítulo 4, respectivamente.

Para uma melhor compreensão dos resultados da simulação, foram selecionados 4 (quatro) casos da Tabela 3. Cada um dos casos

Tabela 3 – Listagem das subestações que sofreram interrupção no fornecimento de energia pela concessionária.

Tempo	Subestação	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo (kWh)
4	4	83,696	125,400	-41,704
17	4	113,410	122,490	-9,080
20	1	284,717	257,216	27,501
37	2	165,717	161,642	4,075
44	4	160,383	160,318	0,65
46	3	81,696	107,898	-26,202
51	3	75,802	104,681	-28,879
52	5	146,178	107,942	38,236
55	5	141,007	135,205	5,802
56	2	194,435	201,532	-7,097
61	2	142,083	177,142	-35,059
64	4	94,087	131,199	-37,112
69	4	117,058	120,065	-3,007
79	2	144,959	154,778	-9,819
84	4	119,321	134,250	-14,929
85	4	141,396	74,471	66,925
87	1	245,761	235,773	9,988
92	1	292,127	285,427	6,700
98	5	166,185	155,483	10,702
100	4	78,957	114,229	-35,272

selecionado está relacionado a uma das formas de negociação de energia elétrica apresentadas neste trabalho.

### 5.1.2 Situação 1 - uso do excedente de energia gerada pelas unidades consumidoras da própria subestação

No tempo 20 observa-se que houve uma queda no abastecimento por parte da concessionária para a subestação 1. Na Tabela 4 nota-se que a geração era 284,717 kWh e o consumo 257,216 kWh restando um saldo de 27,501 kWh excedente na geração de energia elétrica. Como é verificado que seus consumidores podem abastecer toda a sua demanda naquele momento da falha, a mesma não precisa buscar outras fontes de alimentação. Desta forma, é registrado a quantidade de energia que cada consumidor forneceu ao sistema. A Tabela 5 lista as unidades geradoras que estão suprindo a demanda de energia da subestação 1.

### 5.1.3 Situação 2 - uso do excedente de outra subestação

No instante 46 a subestação afetada foi a 3, que possuía um consumo de 107,898 kWh, geração de 81,696 kWh e um saldo de geração de -26,202 kWh, portanto devido a queda do fornecimento da conces-



Tabela 4 – Listagem da situação das cinco subestações no tempo 20.

Tempo	Subestação	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo(kWh)
20	1	284,717	257,216	27,501
20	2	163,893	163,506	0,387
20	3	105,529	103,966	1,563
20	4	114,490	134,428	-19,938
20	5	167,951	152,318	15,633

Tabela 5 – Listagem das unidades consumidoras da subestação 1 que possuem excedente de geração de energia elétrica.

Tempo	Subestação dora	Supri- dora	Consumidores Supridoras (Energia Concedida kWh)
20	1		103 (11,945) , 105 (4,009) , 115 (1,272), 146 (4,459), 152 (3,197), 154 (4,486), 155 (3,574), 156 (2,151), 162 (0,960), 166 (0,582), 170 (10,924), 173 (18,453), 179 (1,706), 180 (6,188), 192 (12,751), 193 (18,307) e 199 (6,99)
<b>Total Concedido (kWh)</b>			<b>111,957</b>

sionária a subestação teve que iniciar a fase de negociação de excedente com outra fonte supridora. Observando seu saldo verifica-se que a mesma não possui excedente para atendimento dela mesma, portanto é necessário localizar outra subestação que possua excedente no valor igual ou superior ao seu saldo.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, a subestação 2 possui um saldo excedente de 26,741 kWh, superior a necessidade da subestação 3. A subestação 2 registrará a quantidade de energia cedida por suas unidades consumidoras. A Tabela 6 apresenta a situação das subestações no tempo 56 e a Tabela 7 lista a identificação e os valores excedentes de energia gerada pelas unidades consumidoras da subestação 2.

Tabela 6 – Listagem da situação das cinco subestações no tempo 46.

Tempo	Subestação	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo (kWh)
46	1	249,860	299,053	- 49,193
46	2	161,593	134,852	26,741
46	3	81,696	107,898	-26,202
46	4	181,275	164,848	16,427
46	5	163,931	140,017	23,914

Tabela 7 – Listagem da subestação que tinha unidades geradoras com energia excedente capaz de suprir a demanda da subestação solicitante.

Tempo	Subestação pridora	Su-	Consumidores Supridoras(Energia Concedida kWh)
46	2		106 (4,905), 116 (0,147), 135 (6,313), 147 (0,251), 153 (2,515), 164 (1,814), 168 (4,543), 169 (0,217), 172 (7,752), 178 (18,540), 194 (22,591)
<b>Total Concedido (kWh)</b>			<b>69,58</b>

Tabela 8 – Listagem da situação das subestações no tempo 56.

Tempo	Subestação	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo (kWh)
56	1	229,962	226,597	3,365
56	2	194,435	201,532	-7,097
56	3	87,609	83,311	4,298
56	4	96,132	127,303	-31,171
56	5	183,163	193,960	-10,797

#### 5.1.4 Situação 3 - uso do excedente de mais de uma subestação de bairro

No instante 56 houve a queda da subestação 2, que possuía um saldo de -7,097 kWh, sendo que após a queda da alimentação pela concessionária a subestação constatou que não possuía energia excedente para alimentar seus consumidores. Então foi necessário iniciar o processo de negociação com as outras subestações.

Foi constatado que não existia nenhuma outra subestação com saldo excedente suficiente para atender a demanda da subestação 2, entretanto, a soma dos excedentes das subestações 3 e 1 eram suficientes. Foi armazenado no banco de dados a identificação e a quantidade de energia excedente fornecido por cada consumidor.

A Tabela 8 apresenta um relatório das subestações no instante 56 e a Tabela 9 lista a identificação e os valores excedentes de energia gerada pelas unidades consumidoras das subestações 1 e 3.

Tabela 9 – Listagem das unidades consumidoras das subestações 3 e 1 que possuíam excedente de geração de energia elétrica.

Tempo	Subestação pridora	Su-	Consumidores Supridoras(Energia Concedida kWh)
56	1		104 (0,216), 109 (7,903), 113 (3,368), 119 (2,248), 136 (6,810), 145 (1,438), 152 (5,441), 154 (0,307), 163 (2,360), 166 (7,812), 173 (2,005), 179 (0,418), 180 (0,359), 181 (2,016), 185 (2,244), 186 (2,616), 192 (2,873).
56	3		121 (0,486), 129 (0,146), 130 (0,221), 143 (18,277), 144 (6,266), 174 (3,391).
<b>Total Concedido (kWh)</b>			<b>79,221</b>

Tabela 10 – Listagem da situação das subestações no tempo 100.

Tempo	Subestação	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo (kWh)
100	1	252,856	282,964	-30,108
100	2	155,385	147,542	7,843
100	3	93,686	74,882	18,804
100	4	78,957	114,229	-35,272
100	5	140,761	132,201	8,560

### 5.1.5 Situação 4 - uso do excedente de uma ou mais subestações para atender algumas prioridades

No último instante de tempo da simulação ocorreu a queda da subestação 4 que não possuía saldo excedente suficiente para garantir o abastecimento de seus consumidores. Portanto, foi iniciado o processo de negociação com as outras subestações, o qual não pode encontrar outra subestação que atendesse integralmente a sua demanda. Nem mesmo se a energia fosse oriunda de mais de uma subestação de bairro, pois a soma do excedente da geração das outras subestações é inferior ao saldo líquido da subestação 4. A Tabela 10 demonstra os dados das cinco subestações no momento da falha de fornecimento da concessionária à subestação 4.

A subestação 4 constatou que a energia excedente das outras subestações poderia ser utilizada para atender os consumidores que são considerados essenciais (prioridades). Observando o saldo líquido de excedente das subestações 2, 3 e 5 e comparando com a quantidade de energia necessária para atendimento das prioridades da subestação 4 que segundo dados da Tabela 10 é de 27,58 kWh, observa-se que é

Tabela 11 – Tabela de consumidores da subestação 4(prioridades)

Tempo	ID	Tipo	Prioridade	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo (kWh)
100	117	U	0	3,589	10,363	-6,774
100	120	B	1	15,255	18,190	-2,935
100	134	H	0	1,234	3,972	-2,738
100	138	H	0	3,638	1,630	2,008
100	142	H	0	1,651	10,950	-9,299
100	150	H	0	12,146	15,984	-5,838
100	177	B	1	19,405	1,938	17,467

Tabela 12 – Listagem das unidades consumidoras das subestações 2, 3 e 5 que possuam excedente de geração de energia elétrica.

Tempo	Subestação pridora	Su-	Consumidores Supridoras(Energia Concedida kWh)
100	2		102 (1,369), 116 (1,057), 141 (0,139), 147 (11,996), 153 (2,501), 160 (2,677), 178 (3,721), 188 (10,714), 190 (0,910), 194 (5,507).
100	3		124 (4,485), 129 (0,823), 143 (3,941), 144 (3,137), 151 (0,474), 158 (0,037), 167 (9,734), 171 (4,100), 174 (1,190), 183 (2,407).
100	5		108 (0,110), 118 (18,526), 125 (3,819), 127 (0,460), 131 (1,271), 148 (6,445), 157 (4,115), 161 (5,983), 195 (7,827), 198 (9,423).
<b>Total Concedido (kWh)</b>			<b>128,898</b>

possível o atendimento a estas unidades naquele momento de falha pelas referidas subestações. A Tabela 11 apresenta os consumidores considerados prioritários da subestação 4 e a Tabela 12 lista a identificação e os valores excedentes de energia gerada pelas unidades consumidoras que atenderam as prioridades.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou uma metodologia para contabilizar a geração e o consumo de energia elétrica em Smart Grids (SG). A metodologia proposta propõe o uso das características de um SG para o aproveitamento de energia excedente dos consumidores autoprodutores.

O SG pode ser compreendido como redes de energia elétrica que utilizam as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para gerenciar e monitorar o transporte da energia elétrica em tempo real com um fluxo de informações e energia bidirecionais entre os consumidores finais e o sistema de fornecimento de energia.

No Brasil a área de SG é carente de padronização e regulamentação, pois o foco das concessionárias ainda está na fase inicial da implementação do SG, que é a fase de instalação de equipamentos que possibilitem o monitoramento e a gerência de dados de forma remota.

A metodologia proposta apresentou a criação de um novo conceito de distribuição de energia elétrica, criando as subestações de bairro que tem como finalidade a redistribuição da energia oriunda da concessionária aos consumidores conectados a ela e também a gerência da energia excedente de seus consumidores, repassando a concessionária todos os dados referente ao despacho de energia excedente em seu sistema. A metodologia apresentada neste trabalho foi criada em conformidade com a Resolução 482/2012 da ANEEL.

Para validar a metodologia proposta foi realizada uma simulação com cinco subestações de bairro e 100 unidades consumidoras. Foram simuladas quedas das subestações de bairro em vários instantes de tempo onde foi possível contabilizar a quantidade de energia excedente que cada consumidor exportava para a rede para atender a subestação que teve o fornecimento de energia elétrica interrompido.

### 6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção são listadas algumas sugestões para trabalhos futuros que visam melhorar e/ou estender a metodologia apresentada neste trabalho.

1. Organizar logicamente as subestações em um grafo com o objetivo de priorizar a troca do excedente de energia elétrica entre subestações que estejam mais próximas.

2. Desenvolver um sistema multiagente para permitir a negociação automatizada entre as subestações.
3. Melhorar o simulador desenvolvido para considerar também possíveis quedas de fornecimento das unidades consumidoras.

## REFERÊNCIAS

- ABRADE. *A Distribuição da Energia ELÉTRICA*. 2013. <<http://www.abradee.com.br/>>. Acessado em 03/05/2013.
- ALDABO, R. *Energia Eólica*. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2002. 156 p.
- ALMEIDA, R. P. D. *SUPRIMENTO REGIONAL DE ENERGIA ATRAVÉS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM RECURSOS RENOVÁVEIS*. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 2010.
- AMIN, S.; WOLLENBERG, B. Toward a smart grid: power delivery for the 21st century. *Power and Energy Magazine, IEEE*, v. 3, n. 5, p. 34-41, 2005.
- ANATEL. *Resolução 527, de 8 de abril de 2009*. 2009. <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/2009/101-resolucao-527>>. Acessado em 20/07/2013.
- ANEEL. *RESOLUÇÃO NORMATIVA 375, DE 25 DE AGOSTO DE 2009*. 2009. <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009375.pdf>>. Acessado em 20/07/2013.
- ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica no Brasil*. Brasília, 2013.
- ANEEL. *Resolução 482/2012*. 2013. <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acessado em 22/06/2013.
- BIODIESELBR. *Energia Nuclear: Geração de Energia*. 2013. <<http://www.biodieselbr.com/>>. Acessado em 21/05/2013.
- BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. *Química Geral*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. Acessado em 07/06/2013.
- BRASIL. *Decreto 2.003, de 10 de Setembro de 1996*. 2013. <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bdec19962003.pdf>>. Acessado em 28/05/2013.
- BRASIL. *Decreto 5.163*. 2013. <<http://www.planalto.gov.br>>. Acessado em 16/05/2013.

BRASIL, P. *Transmissão*. 2013.

<<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/setor-eletrico/transmissao>>. Acessado em 20/06/2013.

CAMARGO, C. C. de B. *Transmissão de Energia Elétrica Aspectos Fundamentais*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2009. 277 p.

CARDOSO, G. S. *Uma visão crítica do cenário da Geração Distribuída no Brasil*. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC, 2009.

CARVALHO, S. S. de; ALEXANDRIA, F. C. de. A incidência do icms sobre novos serviços de comunicação: Plc - comunicação sobre linhas de energia. 2011.

CITTÀ, E. dalle. *Primo bando Smart cities: dall'Europa 80 milioni per l'edilizia sostenibile*. Torino: [s.n.], 2013.  
<<http://www.ecodallecitta.it/notizie.php?id=107279>>. Acessado em 05/06/2013.

ELETROBRAS. *Memória da Eletricidade*. 2013.  
<<http://www.memoria.elektrobras.com/main.asp>>. Acessado em 26/03/2013.

EPE, E. de P. E. 2012. <<http://www.epe.gov.br/>>. Acessado em 02/04/2013.

ESCELSA. *História da Energia Elétrica no Brasil*. 2013.  
<<http://www.eselsa.com.br/aescelsa/historia-ee-brasil.asp>>. Acessado em 02/04/2013.

ESTRATEGICOS, C. de Gestão e E. *Redes elétricas inteligentes: contexto nacional*. Brasília, 2012.

GAMA, K.; ALVARO, A.; PEIXOTO, E. Em direção a um modelo de maturidade tecnológica para cidades inteligentes. *VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação - Trilhas Técnicas*, 2012.

GUEDES, L. de M. *Localização e Dimensionamento de Unidades de Geração Distribuída em Redes de Distribuição Radiais*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, 2006.

GYR, L. *GRIDSTREAM-Sistemas de plataforma aberta e flexível*. [S.l.], 2011.



- HAMILTON, D. *Energia para o Brasil: 10 anos de Tractebel Energia*. Florianópolis: D Fato Comunicação, 2008.
- HART, D. Using ami to realize the smart grid. In: *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–2. ISSN 1932-5517.
- HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. Porto Alegre: [s.n.], 2002.
- HINRICHS MERLIN KLEINBACH, L. B. d. R. R. A. *Energia e Meio Ambiente*. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 560 p.
- HUGHES, J. Intelligrid architecture concepts and iec61850. *Transmission and Distribution Conference and Exhibition - Texas*, p. 4, 2006.
- INEE. *Geração Distribuída e Coogeração*. 2013. <<http://www.inee.org.br>>. Acessado em 16/05/2013.
- JANEIRO, G. R. de. *Cidade Inteligente - Búzios*. 2013. <<http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/>>. Acessado em 16/05/2013.
- JANNUZZI, A. C. *REGULAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA SOB O FOCO DO CONSUMIDOR*. Dissertação (Mestrado) — UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2007.
- LEAO, R. *GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica*. Fortaleza, 2009.
- LOPES, J. P. Inesc porto impulsona gestão ativa e inteligente da rede elétrica nacional. *Boletim INESC Porto*, 2010.
- LORA, E. E. S.; HADDAD, J. *Geração Distribuída - Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.
- MME, M. de Minas e E. *Smart Grid - Relatório do grupo de trabalho de redes elétricas inteligentes do Ministério de Minas e Energia*. Brasília, 2010.
- MME, M. de Minas e E. 2013. <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acessado em 15/05/2013.
- MONTICELLI, A.; GARCIA, A. *Introdução a sistemas de energia elétrica*. São Paulo: Campinas São Paulo, 2000.

- MORAES, D. C. F. *A viabilidade da transmissão de dados em redes de energia elétrica de baixa tensão*. [S.l.], 2002.
- NEOENERGIA. *Geração*. 2013. <<http://www.neoenergia.com/>>. Acessado em 21/05/2013.
- NEWS, S. G. 2013. <<http://smartgridnews.com.br/beneficios/>>. Acessado em 15/05/2013.
- ONS. *O ONS*. 2013. <<http://www.ons.org.br>>. Acessado em 02/05/2013.
- PARENTE, D. A. *ESTUDO DE SISTEMAS PLC*. 2011.
- PCS, P. C. S. *Amsterdã: uma cidade inteligente*. 2013. <<http://www.cidadessustentaveis.org.br/>>. Acessado em 16/05/2013.
- ROCHAS, A. F. *No caminho da integração das redes*. 2009. <<http://www.redeinteligente.com/2009/07/25/no-caminho-da-integracao-das-redes/>>. Acessado em 17/05/2013.
- RODRIGUES, F. F. C.; BORGES, C. L.; FALCÃO, D. M. Programação da contratação de energia considerando geração distribuída e incertezas na previsão de demanda. *Revista Controle & Automação*, v. 18, p. 10, 2007.
- ROSSI, C. Z. *PLC Power line Communications e sua projeção futura*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- ROVER, A. J.; GALINDO, F. *O Governo eletrônico e suas múltiplas facetas*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010.
- SERRANO, A. G.; NETO, F. *Cidades e Territórios do Conhecimento. Um Novo Referencial para a Competitividade*. Lisboa: [s.n.], 2005.
- SILVA, J. C. B. *Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2002.
- SINHA, A. et al. Smart grid initiative for power distribution utility in india. *Power and Energy Society General Meeting, IEEE*, p. 8, 2011.
- STEVENTON, A.; WRIGHT, S. *Intelligent spaces: the application of pervasive ICT*. Londres: [s.n.], 2006.

TOLEDO, F. *Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes*. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia Ltda, 2012.

UNESP. *Usina Hidrelétrica*. 2013.

<<http://www.dee.feis.unesp.br/usinaecoeletrica/index.php/hidreletrica>>.

Acessado em 02/04/2013.

VIEIRA, J. G.; GRANATO, S. Medição inteligente e a smart grid. *Smart Grid News*, 2011.

WALISIEWICZ, M. *Energia Alternativa: Solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis*. Florianópolis: [s.n.], 2008.



## **ANEXO A – Resumo da Legislação**



A legislação que regulamenta a Geração Distribuída (GD) de energia elétrica no Brasil visa o estabelecimento de regras para que a conexão com a rede de distribuição seja mais confiável e eficiente. Este anexo aborda os principais pontos da regulamentação do setor elétrico referente a GD e a autoprodução de energia elétrica.

#### A.1 DECRETO 2.003 DE 1996

Quando surgiu a proposta da conexão de unidades com GD com a rede de distribuição, foi necessário a criação deste decreto para estabelecer critérios que determinaram os responsáveis por tal geração. Este decreto os classificou como produtores independentes e autoprodutores.

Produtor Independente é aquele que produz energia elétrica mediante autorização/concessão da ANEEL para comercialização (venda). Tal venda pode ser praticada com outros consumidores e com as concessionárias de energia elétrica.

O autoprodutor é aquele que gera energia elétrica para consumo próprio, podendo ser autorizado pela ANEEL para fornecer o excedente de sua produção as concessionárias de distribuição.

Além das definições acima citadas este decreto menciona que os produtores independentes e autoprodutores tem livre acesso as redes das concessionárias para conexão da GD, porém os mesmos deverão ressarcir os custos de transporte as distribuidoras (BRASIL, 2013).

#### A.2 LEI 10.438 DE 2002

De acordo com (CARDOSO, 2009) o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi criado a partir da lei 10.438 de 2002, sendo o principal incentivo à instalação de unidades de geração de eletricidade que utilizam fontes renováveis em seu processo de produção. Junto a este programa foi criado também a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que estimula a competitividade da energia produzida a partir de fontes alternativas.

#### A.3 DECRETO 5.163 DE 2004

Este decreto reconhece a GD na legislação brasileira, estabelecendo conceituação e formas de contratação da energia produzida por

estes empreendimentos.

#### A.4 RESOLUÇÃO NORMATIVA 345 DE 2008

Esta resolução aprova os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST) no sistema nacional. Esta resolução trata de questões técnicas referentes a consumidores e também às unidades que produzem energia e que desejam acessar o sistema de distribuição.

#### A.5 RESOLUÇÃO NORMATIVA 482 DE 2012

Esta resolução é uma das principais do setor elétrico referente ao estabelecimento de regras para a comercialização do excedente dos autoprodutores de energia elétrica. Classifica os geradores em duas classes:

1. Microgeração Distribuída - possuem geração com potência  $\leq 100$  kW.
2. Minigeração - possuem geração com potência  $> 100$  kW e  $\leq 1$  MW.

Através desta resolução foi criado o sistema de compensação de energia elétrica que determina que o autoprodutor poderá ceder o excedente de sua produção a título de empréstimo a distribuidora que posteriormente compensará o mesmo via crédito em faturas posteriores do mesmo consumidor que está cedendo a energia elétrica. Determina que o crédito deverá ser utilizado no prazo de 36 meses posteriores ao período de geração da energia.

Determina também que a potência instalada dos autoprodutores fica limitada a carga instalada aos consumidores classificados no grupo B (baixa tensão) e à demanda contratada no caso dos consumidores do grupo A (alta tensão).

Estabelece critérios as distribuidoras que deverão cobrar no mínimo, o valor referente aos custos de disponibilidade da energia para os consumidores do grupo B e demanda contratada nos consumidores do grupo A. Além de que determina que as faturas deverão conter informações do eventual saldo positivo para o próximo ciclo de faturamento (kWh), por posto tarifário e o total de créditos que expirarão no próximo ciclo (ANEEL, 2013a).



## A.6 RESOLUÇÃO NORMATIVA 375 DE 2009

A ANEEL aprovou no dia 25 de agosto de 2009, as regras para a utilização da tecnologia PLC nas redes elétricas, possibilitando que as distribuidoras de energia elétrica explorassem outros serviços além da distribuição da energia elétrica, como: a transmissão de dados, voz e imagem e acesso à internet em alta velocidade.

Através da Resolução 375/2009 que regula a utilização das instalações da rede de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais. Esta resolução apresenta as definições básicas da tecnologia PLC e limita-se a apresentar algumas obrigações contratuais entre prestadoras de serviço PLC e as distribuidoras de energia elétrica (ANEEL, 2009)(PARENTE, 2011).

## A.7 RESOLUÇÃO NORMATIVA 527 DE 2009

Entretanto a Resolução 527, de 8 de abril de 2009, da ANATEL, apresenta uma série de aspectos técnicos que devem ser atendidos pelas prestadoras de serviço PLC, a fim de que o uso da tecnologia PLC não venha a prejudicar outros setores de telecomunicações. A referida Resolução limita a faixa de frequência de 1,705 MHz a 50 MHz como faixa disponível para a utilização nas redes elétricas. A ANATEL ainda limita algumas faixas de frequência nas redes de média tensão com o objetivo de proteger o serviço móvel aeronáutico e radioamador, bem como restringe o uso de sistemas PLC em certas áreas, sendo que não é permitido a utilização desta tecnologia em zonas de presídios e zonas de estações terrestres, uma vez que a tecnologia PLC pode emitir ruídos que poderão causar interferência no sinal de comunicação dos setores acima citados (ANATEL, 2009).



**ANEXO B - Listagem dos Consumidores com Respectivos  
Dados Utilizados na Simulação**



Este anexo apresenta uma listagem dos dados dos consumidores utilizados na simulação descrita no Capítulo 5.

Tabela 13 – Lista de usuários

<b>Código Consumidor</b>	<b>Tipo</b>	<b>Prioridade</b>	<b>Código Subestação</b>	<b>Potência Instalada (KWh)</b>
103	P	2	1	23.106
104	H	0	1	5.560
105	B	1	1	9.641
107	B	1	1	5.017
109	C	7	1	14.174
112	U	0	1	15.027
113	R	7	1	7.259
115	B	1	1	14.996
119	R	7	1	7.061
136	C	7	1	29.810
140	E	4	1	9.331
145	P	2	1	16.332
146	P	2	1	28.679
152	C	7	1	30.285
154	P	2	1	12.769
155	B	1	1	13.459
156	P	2	1	12.954
162	B	1	1	11.496
163	E	4	1	14.363
166	H	0	1	15.823
170	R	7	1	26.742
173	C	7	1	31.596
179	C	7	1	3.480
180	E	4	1	20.365
181	U	0	1	16.608
185	C	7	1	18.616
186	C	7	1	10.051
192	C	7	1	29.875
193	C	7	1	32.362
199	R	7	1	28.163
102	P	2	2	7.988
106	B	1	2	22.599
116	P	2	2	5.249
128	P	2	2	25.140
135	U	0	2	16.045
141	C	7	2	15.760
147	C	7	2	19.425
153	P	2	2	10.320
160	U	0	2	18.843
164	U	0	2	5.250
168	P	2	2	18.027
169	B	1	2	31.099
172	U	0	2	15.559
176	H	0	2	22.792
178	B	1	2	31.060
188	R	7	2	27.084
190	R	7	2	1.762
191	P	2	2	7.565
194	C	7	2	25.207
121	H	0	3	0.950
124	U	0	3	18.623

129	R	7	3	5.769
130	R	7	3	3.271
143	P	2	3	30.199
144	B	1	3	10.443
151	P	2	3	2.000
158	P	2	3	0.085
167	H	0	3	25.478
171	P	2	3	5.315
174	B	1	3	13.581
175	B	1	3	4.307
182	H	0	3	13.990
183	C	7	3	22.164
196	R	7	3	15.057
101	R	7	4	24.956
114	E	4	4	29.819
117	U	0	4	24.221
120	B	1	4	32.535
123	C	7	4	23.029
126	C	7	4	7.698
134	H	0	4	6.333
138	H	0	4	6.137
142	H	0	4	12.768
149	P	2	4	4.859
150	H	0	4	21.056
165	E	4	4	5.301
177	B	1	4	21.262
187	P	2	4	30.185
100	P	2	5	13.409
108	E	4	5	0.810
110	P	2	5	29.841
111	C	7	5	7.285
118	E	4	5	26.957
122	C	7	5	11.892
125	B	1	5	24.169
127	U	0	5	0.582
131	H	0	5	5.297
132	H	0	5	1.679
133	P	2	5	0.787
137	E	4	5	12.937
139	C	7	5	18.688
148	B	1	5	8.767
157	E	4	5	7.185
159	P	2	5	8.686
161	H	0	5	24.436
184	B	1	5	6.095
189	U	0	5	1.887
195	B	1	5	19.660
197	P	2	5	29.275
198	R	7	5	31.552





## **ANEXO C – Tecnologia Power Line Communication - PLC**



O Power Line Communications (PLC) é um sistema de telecomunicações que transporta dados provenientes da comunicação digital e analógica como internet, vídeo e voz por meio da rede elétrica. Por exemplo, uma tomada que liga um determinado eletrodoméstico pode vir a se tornar um ponto de rede de dados para as provedoras de serviços de TV por assinatura (CARVALHO; ALEXANDRIA, 2011).

O PLC transforma a fiação das redes internas e externas das unidades consumidoras em extensões da grande rede elétrica. Na unidade que possui sistema PLC cada ponto de tomada é ao mesmo tempo, um ponto de conexão a internet e ponto de energia elétrica. Através deste ponto é possível efetuar o gerenciamento doméstico à distância, onde é possível com a utilização de qualquer equipamento com conexão a internet comandar aparelhos eletroeletrônicos.

Também possibilita as concessionárias de energia que efetuem serviços remotos como o desligamento e reestabilização da energia elétrica da unidade consumidora (MORAES, 2002).

O Sistema PLC e outras tecnologias de transmissão de dados só foram possíveis devido o avanço das técnicas de modulação, que consistem no processo de transformação de um sinal em uma forma adequada para transmissão através de um certo meio físico (canal). Este processo ocorre no transmissor, onde é alterado algum parâmetro da onda portadora conforme a mensagem enviada através do meio de transmissão (ROSSI, 2011).

O princípio de funcionamento do PLC é semelhante ao que ocorre com a estrutura de internet Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL), que utiliza a linha telefônica para inserir dados modulares em alta frequência em um meio físico de transmissão já existente. No caso do PLC é utilizado a rede de energia elétrica para a transmissão dos sinais.

A Figura 19 ilustra o funcionamento de um sistema PLC.

Atualmente existem dois tipos de sistemas PLC:

**Indoor:** amplia o espectro das redes prediais pois possibilita que cada tomada elétrica torne-se um ponto de acesso se sinais de dados para computadores pessoais, telefones e impressoras, bem como para outros equipamentos que tenham necessidade de acesso a dados.

**Outdoor:** a transmissão de dados é efetuada utilizando a rede elétrica da concessionária de energia elétrica. Este sistema se utiliza das redes de média e baixa tensão para comunicar o usuário com a internet ou com as concessionárias de energia.

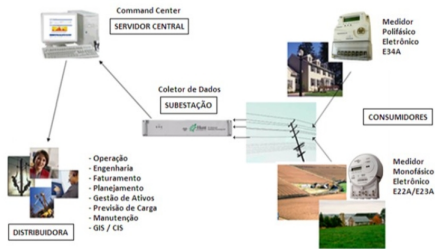


Figura 19 – Esquema de funcionamento sistema PLC.  
Extraído de (GYR, 2011)

Os seguintes serviços podem ser ofertados utilizando uma rede PLC:

- Acesso em Banda Larga à Internet;
- Telefonia de voz sobre (VoIP);
- Serviços de Monitoração e Vigilância, e
- Automação Residencial, entre outros.

A possibilidade de transmissão de dados através da rede elétrica é possível devido a diferença da faixa de frequência utilizada pelos dois sistemas. O sistema PLC usa a faixa de frequência na ordem de milhares de Hertz, enquanto a energia elétrica utiliza a faixa de dezenas de Hertz. Sendo assim os dois sinais são transmitidos pelo mesmo meio sem que um interfira no outro.