

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E COMPUTAÇÃO**

João Vítor Silva Robazzi

**Análise do crescimento energético brasileiro  
com enfoque no potencial energético da  
região Norte**

**São Carlos**

**2015**

**JOÃO VÍTOR SILVA ROBAZZI**

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO  
ENERGÉTICO BRASILEIRO COM  
ENFOQUE NO POTENCIAL  
ENERGÉTICO DA REGIÃO NORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo  
Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em  
Sistemas de Energia e Automação

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

S628a Silva Robazzi, João Vítor  
Análise do crescimento energético brasileiro com  
ênfase no potencial energético da região Norte / João  
Vítor Silva Robazzi; orientador Frederico Fábio Mauad.  
São Carlos, 2015.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2015.

1. Energia solar. 2. Energia eólica. 3. Energia  
hidráulica. 4. Fontes renováveis. 5. Geração  
distribuída. 6. Região Norte. I. Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: João Vitor Silva Robazzi

Título: "Análise do crescimento energético brasileiro com enfoque no potencial energético da região Norte"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 27/11/15,

com NOTA 7,0, neto, pela Comissão Julgadora:

*Prof. Associado Frederico Fábio Mauad - (Orientador - SHS/EESC/USP)*

*Mestre Franciane Mendonça dos Santos - (Doutorando - SHS/EESC/USP)*

*Prof. Dr. Elmer Pablo Tito Cari - (SEL/EESC/USP)*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico esse trabalho aos meus pais, Luís Aníbal e Célia, aos meu irmão, Ana Luísa e Luís  
Guilherme e à minha namorada, Amanda**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Luís Anibal e Célia, aos meus irmãos, Ana Luísa e Luís Guilherme

À minha namorada, Amanda

Ao Prof. Dr. Frederico pela orientação

Ao departamento de Engenharia Elétrica e a Universidade de São Paulo.

E a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do meu trabalho.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como propósito fazer uma análise da exploração energética da região Norte do Brasil, assim como propor quais as melhores opções de fontes renováveis para essa região. A energia elétrica é um recurso necessário para o desenvolvimento socioeconômico da população. O Brasil é um país de grande extensão, possuindo várias alternativas para sua geração de energia. Fontes sustentáveis, como a solar, eólica e hidráulica são fortes candidatas a serem exploradas no território brasileiro, uma vez que apresentam um grande potencial. A geração distribuída está em crescimento no país, por melhorar a eficiência energética e a segurança na entrega da energia à carga. A região Norte possui fortes potenciais em vários tipos de energia sustentável que ainda não foram exploradas, e merecem a atenção para que possam contribuir, não só no seu próprio crescimento, quanto no crescimento nacional.

**Palavras-chaves:** Energia solar; energia eólica; energia hidráulica; fontes renováveis; geração distribuída; região Norte.

## **ABSTRACT**

This paper aims making an analysis of energy exploitation of the northern region of Brazil, as proportionality, what are the best renewable options for that region. Electric power is a necessary resource for socio-economic development of the population. Brazil is a country of great extent, having several alternatives for power generation. Sustainable sources such as solar, wind and hydro are strong candidates to be explored in Brazil since they have great potential. Distributed generation is growing in the country by improving energy efficiency and safety in the delivery of power to the load. The northern region has strong potential in various types of sustainable energy that have not yet been explored, and deserve attention so that they can contribute not only to your own growth as to the national growth.

**Keywords:** Solar energy; wind energy; hydropower; sustainability; renewable sources; North region.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Influência das estações do ano na radiação solar terrestre.....	23
Figura 2 – Posicionamento dos aerogeradores em uma usina eólica .....	25
Figura 3 – Potência gerada por um aerogerador em relação à velocidade do vento .....	26
Figura 4 – Futuros Parques Eólicos no Brasil. ....	32
Figura 5 – Sistema Interligado Nacional (SIN).....	33
Figura 6 – Mapa de Eletrificação de Domicílios Brasileiros. ....	38
Figura 7 – Localização das Possíveis Usinas Fotovoltaicas na Região Norte. ....	40
Figura 8 – Potencial Eólico da Região Norte. ....	41
Figura 9 – Hidrologia da Região Norte. ....	42
Figura 10 – Pequenas Centrais Hidrelétricas no Território Brasileiro. ....	43

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Usinas com construção não iniciada, construção iniciada e em operação por fonte de geração. ....	30
Tabela 2 – Geração Centralizada e Geração Distribuída no Brasil. ....	35
Tabela 3 – Variação da Demanda de Energia Elétrica por Região. ....	39
Tabela 4 - Histórico de Exploração na Região Norte.....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Capacidade instalada no SIN por fonte. ....	30
Gráfico 2 – Acréscimo da Potência Instalada por Fonte. ....	31
Gráfico 3 – Crescimento da Capacidade Instalada da Energia Solar nos próximos dez anos. ....	31
Gráfico 4- Intercâmbio de Energia Elétrica entre as Regiões Norte e Nordeste. ....	34
Gráfico 5 - Intercâmbio de Energia Elétrica entre as Regiões Norte e Nordeste. ....	34
Gráfico 6 – Acréscimo de Potência Instalada por Região. ....	43
Gráfico 7 - Crescimento Energético da Região Norte* ....	45

## **LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

**ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica

**ANA** – Agência Nacional de Águas

**BEN** – Balanço Energético Nacional

**BIG** – Banco de Informações de Geração

**CEPEL** – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

**CGH** – Centro de Geração Hidráulica

**EPE** – Empresa de Pesquisa Energética

**EUA** – Estados Unidos da América

**GD** – Geração Distribuída

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IDH** – Índice de Desenvolvimento Humano

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

**IEEE** – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

**MME** – Ministério de Minas e Energia

**ONS** - Operador Nacional do Sistema Elétrico

**PCH** – Pequenas Centrais Hidroelétricas

**PDE** – Plano Decenal de Expansão de Energia

**PROINFA** – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

**PIB** – Produto Interno Bruto

**SIN** – Sistema Interligado Nacional

**UHE** – Usina Hidrelétrica

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 OBJETIVO.....	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos .....	18
3 METODOLOGIA .....	19
3.1 Levantamento Bibliográfico.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1 A história da energia elétrica.....	20
4.1.1 Histórico da energia solar.....	20
4.1.2 Histórico da energia eólica.....	21
4.1.3 Histórico da energia hidráulica .....	21
4.1.3.1 Histórico das PCHs no estado de São Paulo .....	22
4.2 Definição das energias solar, eólica e hidráulica .....	23
4.2.1 A geração solar.....	23
4.2.1.1 Viabilidade técnica da geração solar .....	23
4.2.1.2 Impactos socioambientais da usina solar.....	24
4.2.2 A geração eólica.....	24
4.2.2.1 Viabilidade técnica da usina eólica .....	24
4.2.2.3 Impactos socioambientais da usina eólica.....	26
4.2.3 Geração hidráulica .....	27
4.2.3.1 Viabilidade técnica das grandes centrais hidráulicas e PCHs .....	27
4.2.3.2 Impactos socioambientais .....	28
4.3 O Brasil .....	29
4.3.1 Crescimento energético no Brasil .....	29
4.3.2 Tipos de geração no Brasil .....	29
4.3.2.1 Participação da energia solar na matriz energética nacional .....	31
4.3.2.2 Participação da energia eólica matriz energética nacional .....	32
4.3.2.3 Participação das PCHs na matriz energética nacional.....	32
4.4 Geração distribuída .....	33

4.4.1 Geração distribuída no Brasil.....	35
4.4.1.1 O por quê do crescimento da GD no Brasil.....	36
4.4.2 Vantagens da GD .....	36
4.4.3 Desvantagens da GD .....	37
4.5 O cenário da região Norte na atualidade .....	38
4.5.1 Energia Solar na região norte .....	39
4.5.2 Energia eólica na região norte .....	40
4.5.3 Energia hidráulica na região norte .....	41
4.6 Tendência de crescimento energético na região Norte.....	44
5 CONCLUSÃO .....	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil vem passando por grandes alterações demográficas no últimos anos. A população brasileira vem crescendo em taxas cada vez menores (0,7%), por conta da diminuição das taxas de natalidade e pela saturação das regiões mais populosas, Sudeste (41,6%) e Nordeste (27,2%). Estima-se que o crescimento nacional se concentrará cada vez mais na região Norte (1,1%), por conta de sua grande área desabitada e de sua liderança no ranking de crescimento na última década (BRASIL, 2011). Tais fatos não são capazes de induzir mudanças significativas a curto prazo na estrutura populacional do país, porém, é possível estimar, a longo prazo, que a região Norte devido as taxas de crescimento populacional dos últimos anos está favorável ao desenvolvimento (BRASIL, 2011). Consequentemente, a demanda energética da região tenderá ao crescimento.

A energia elétrica é essencial e caminha sempre em paralelo com o desenvolvimento. Atualmente, o Sistema Interligado Nacional (SIN) abrange em sua maior parte as regiões Sul, Sudeste e Nordeste, por conta de suas altas demandas, e se encontra em menor quantidade na região Norte, o que é compreensível, já que a carga requerida por essa é muito menor. Entretanto, como o crescimento populacional dessa última se mantém além da média brasileira, entende-se que o foco da geração passará a se deslocar na sua direção. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), a maioria dos domicílios brasileiros, principalmente em zona urbanas, possuem energia elétrica, com excessão aos domicílios rurais da região Norte, onde apenas 61,5 % das residências recebem eletricidade. Então, por conta de seu potencial de desenvolvimento nos próximos anos, principalmente no setor rural, a geração de energia da região Norte tem necessidade de ser estudada, visando a instalação de usinas que possuam vantajosos fatores técnicos e sustentáveis de acordo com o ambiente de cada área desta região (BRASIL, 2011).

O desenvolvimento sustentável é um dos maiores desafios que o mundo vem enfrentando nas últimas décadas. Na área de geração de energia, este critério não é diferente. Atualmente, existe um consenso entre a maioria dos países do mundo em diminuir, ou até mesmo reverter, o dano causado à natureza em busca de recursos energéticos. O grande desafio é alcançar a demanda sem causar a degradação do meio ambiente. A alternativa utilizada pela maioria dos países em desenvolvimento é o uso da energia renovável, como a solar, eólica e hidráulica, porém os recursos que estas utilizam para a geração dependem intensamente da região onde serão instaladas, podendo inviabilizar a aplicação (LAI; CHAN, 2007). Outro fator que diminui fortemente o impacto ambiental é a distribuição da geração da energia, evitando grandes usinas e sempre buscando gerar nas proximidades da demanda.

A geração distribuída (GD) pode ser entendida como a alocação de geradores elétricos situados nas proximidades dos consumidores. Com o intuito de produzir potências relativamente baixas, as instalações podem ser feitas com projetos de menor amplitudes do que as gerações

centralizadas (MARSDEN, 2011). No Brasil, principalmente em áreas onde o SIN não possui acesso, a GD pode ser considerada uma boa alternativa, uma vez que a mesma não apresenta necessidade de grandes extensões de linhas de transmissão. Outras vantagens que a GD traz é a redução das perdas de transmissão, a diversificação da matriz energética, entre várias outras (BRASIL, 2014a). É possível perceber que tais vantagens são de suma importância na escolha do método de geração que será empregado no Brasil nos próximos anos. Outra escolha de grande prioridade a ser feita é o tipo dos geradores que serão instalados em determinadas regiões, tendo como foco a geração sustentável.

Entre todos os tipos de geração de energia elétrica, o gerador fotovoltaico, ou solar, pode ser considerado um dos tipos mais limpos. A radiação solar pode ser utilizada como forma direta na produção de energia elétrica por meio de efeitos sobre certos materiais fotovoltaicos, particularmente, os semicondutores (BRASIL, 2005). A GD tem forte ligação histórica com a geração solar. Desde 1996, o governo dos Estados Unidos da América (EUA) vem aproveitando suas regiões com altas taxas de radiação e incentivando a produção de placas solares em níveis domiciliares para a GD. Além da opção de compra das placas solares, várias empresas se propuseram a viabilizar a locação de placas solares por preços atrativos, se comparados com as despesas tradicionais (MINTS, 2014). Um dos argumentos utilizados para atrair clientes foi a conscientização em relação ao meio ambiente, já que os EUA são um dos maiores emissores de carbono da atualidade (EIA, 2015). Mudando bruscamente o cenário, Akinyele (2013) realizou um estudo sobre os benefícios que a energia solar traria para o povo nigeriano, principalmente para o desenvolvimento socioeconômico da população. Por conta do produto interno bruto (PIB) da Nigéria, as conclusões do estudo destacaram que tal desenvolvimento só seria possível caso houvesse o apoio monetário do governo, situação semelhante a que se encontra na região Norte brasileira. Além de trabalhar em níveis domiciliares, a geração solar pode ser implantada em recintos maiores, tornando a geração um pouco mais centralizada e atendendo uma parcela maior de carga (BRASIL, 2006).

Se comparada com a geração solar, a produção eólica de energia pode ser considerada tão limpa quanto, porém, no quesito descentralização, as usinas movidas a vento têm a necessidade de áreas melhores adaptadas (KARKI et al., 2006). Sendo assim, é interessante concentrar vários aerogeradores em localidades onde a incidência de vento seja grande. Nas últimas décadas, vários investimentos foram feitos para que o aproveitamento dos aerogeradores fossem melhorados e que o custo de produção diminuísse (BRASIL, 2005). No Brasil, o maior potencial eólico fica situado na região Nordeste e no litoral Sul do Rio Grande do Sul, porém, em algumas épocas do ano o litoral da região Norte apresenta um potencial de ventos considerável, podendo ser aproveitado como energia secundária (BRASIL, 2001). A instabilidade apresentada na recorrência dos ventos faz com que a implantação de fontes firmes de energia seja incentivada e um dos grandes potenciais brasileiros neste quesito é a geração hidráulica.

O Brasil vem aproveitando seu potencial hidrelétrico de forma intensa e justificável, já que o potencial calculado atualmente no país é de mais de 264 GW, desde usinas em operação até



bacias com potencial de implantação, onde 30% (80 GW) estão apenas estimados (BRASIL, 2015c). Com o intuito de gerar energia respeitando o meio ambiente, as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) podem ser consideradas fontes firmes de energia e tem o intuito de descentralizar a geração, diversificando a matriz energética brasileira (BRASIL, 2007). Além disso, podem ser consideradas empreendimentos que atendem melhor as cargas de pequenos centros urbanos e regiões rurais. Segundo dados do IBGE, a região Norte é a que apresenta o maior desfalque na entrega de energia em domicílios rurais, o que pode ser considerado um argumento para justificar a sua baixa produção agrícola e o baixo índice de desenvolvimento humano (IDH). Porém, grandes áreas situadas nesta região são consideradas áreas de preservação ambiental e não podem ser prejudicadas pela construção de grandes centros de geração hidráulicos. As PCHs são uma ótima resposta à esta barreira, pois diminuem os impactos causados pelas usinas hidrelétricas, por não necessitarem de grandes reservatórios e, em muitos casos, serem capazes de operarem a fio d'água. A região Norte do Brasil encontra-se predominante em aproveitamentos em fase de viabilidade, com 63% do total, esse indicador mostra o interesse nacional no desenvolvimento desta área (BRASIL, 2007).

Grandes centros de geração vem sendo construídos na região Norte como a Hidrelétrica de Belomonte e a Hidrelétrica de Tucuruí, ambas no Pará, porém existem muitos movimentos ambientalistas em contraposição a tais projetos (BRASIL, 2005). É totalmente compreensível já que a dimensão desmatada e desabitada destas áreas vem causando muitos danos ao meio ambiente. Com o contínuo avanço da região norte, é preciso analisar a melhor forma de geração sustentável de energia, considerando custo e carga. O intuito deste trabalho é a definição da melhor forma de energia sustentável a ser implantada na região norte baseando-se no futuro crescimento desta área.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é apresentar as formas de energia sustentável como a solar, eólica e hidráulica, com enfoque nas pequenas central hidrelétrica (PCHs), para implantações futuras na região Norte do Brasil, tendo sempre como foco a utilização da geração distribuída e sustentável.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um levantamento bibliográfico a respeito do histórico da energia eólica, solar e hidráulica;
- Realizar um levantamento bibliográfico a respeito das fontes de energia eólica, solar e hidráulica com enfoque nas PCHs, seu funcionamento e suas vantagens e desvantagens;
- Apresentar o cenário energético do Brasil na atualidade;
- Apresentar como a geração distribuída está inserida no Brasil e o seu potencial de crescimento;
- Apresentar os cenário atual e futuro potencial de crescimento da região Norte brasileira na área energética a partir de fontes renováveis.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Levantamento Bibliográfico

Este trabalho é uma análise do desenvolvimento de geração de energia elétrica da região Norte, portanto a metodologia de pesquisa baseia-se no levantamento bibliográfico que foi realizado em bases de dados do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e *Science Direct*, em livros relacionados ao tema e em sites do governo como Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema (ONS), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Banco de Informações de Geração (BIG), Balanço Energético Nacional (BEN), Agência Nacional de águas (ANA), Plano Decenal de Desenvolvimento Energético (PDE), IBGE, ELETROBRAS e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Mediante seleção de palavras-chave: Energia elétrica no Brasil, Energia elétrica na região norte, geração hidráulica, geração eólica, geração solar, geração distribuída, pequenas centrais hidrelétricas, geração sustentável, energia sustentável. Os artigos foram obtidos mediante a disponibilidade virtual e aqueles que não estavam disponíveis para download foram obtidos a partir de base de dados vinculados à Universidade de São Paulo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 A história da energia elétrica**

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. O homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensada pelo surgimento de outro. O conceito de energia está relacionado a capacidade de algo em realizar trabalho, como troca de calor, movimento ou transformação de algo. No âmbito econômico e tecnológico a energia é considerada um recurso essencial e aos elementos relacionados a ela que permitem fazer o uso da mesma para fins industriais ou domiciliares (BRASIL, 2005).

O grande marco da utilização da energia pelo homem aconteceu no século XVIII com a invenção da máquina a vapor que deu início a revolução industrial na Europa. As locomotivas e as máquinas de tear a vapor foram as primeiras invenções que utilizavam a energia criada pelo aquecimento da água, seguidas pela invenção de grandes embarcações, contribuindo imensamente para o desenvolvimento do comércio por toda parte do mundo. No início do século XIX inicia-se o uso de novas fontes de energia como o petróleo e a energia elétrica, que seriam grandes fatores para o desenvolvimento humano até a atualidade, disponibilizando conforto e novas perspectivas de vida (BRASIL, 2005).

Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões.

#### **4.1.1 Histórico da energia solar**

Em 1839, o efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, abrindo as portas para a geração de energia elétrica via radiação solar. Em 1883, Charles Fritts construiu a primeira célula solar, atingindo apenas 1% de eficiência de conversão, entretanto sua primeira aplicação foi em 1955 em painéis espaciais, já com uma tecnologia de conversão mais aprimorada, atingindo 6% de eficiência. O alto custo da produção das células fotovoltaicas racionalizados pelos japoneses em 1963 na criação da placa de silício cristalino, fato que possibilitou a utilização de domicílios na GD. Na atualidade, em 2004, os EUA se propuseram a ter mais de 1 milhão de telhados na região da califórnia e a China alcançou quase 50% da produção mundial de energia solar em 2007. A queda dos preços dos painéis solares aconteceu efetivamente no ano de 2011, quando empresários brasileiros construíram a primeira usina fotovoltaica no Brasil. Após a construção, a ANEEL regulamentou as redes fotovoltaicas conectadas a rede do sistema interligado.

A partir de então, o Brasil apresentou várias indústrias com interesses na geração solar, por conta de sua viabilidade econômica (BSES, 2011).

#### **4.1.2 Histórico da energia eólica**

Com o avanço da agricultura o homem necessitava cada vez mais de ferramentas que facilitassem o processamento nas etapas de trabalho. Os moinhos movidos a vento passaram a substituir o trabalho animal e braçal humano. Em 1888, Charles F. Brunch, desenvolveu o primeiro modelo de catavento voltado para eletrificação e carregamento de baterias na cidade de Cleveland, em Ohio. A Rússia iniciou fortes pesquisas no desenvolvimentos de aerogeradores em 1931, fazendo a primeira ligação dos mesmo na rede de transmissão, com linhas de 30km e 6,3kV. Na época da segunda guerra mundial, os países se focaram em economizar combustíveis fósseis, o que proporcionou o desenvolvimento da tecnologia dos cataventos. As grandes usinas eólicas vêm sendo utilizadas desde o início da segunda guerra mundial, com sua primeira implementação na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil cataventos, tendo sua maior concentração nas regiões europeias. Devido os grandes períodos de seca nos últimos anos, a geração eólica no Brasil vem ganhando espaço. A primeira turbina eólica no país foi instalada em Fernando de Noronha em 1992, e em 2002 foram estipulados incentivos a esse tipo de energia. O primeiro leilão de energia eólica no Brasil aconteceu em 2009, quando o potencial brasileiro foi estipulado em mais de 60 GW (BRASIL, 2005 e 2012).

#### **4.1.3 Histórico da energia hidráulica**

A energia proveniente dos rios foi inicialmente utilizada para a moção de ferramentas agrícolas, assim como a eólica, com uma grande efetividade, porém com menos disponibilidade, uma vez que não se encontrava rios em todos os lugares. As usinas hidrelétricas começaram a aparecer no século XIX, em 1878, na cidade de Cragside, a residência do inventor britânico Lord Armstrong em Northumberland, tornou-se a primeira casa alimentada por uma usina hidrelétrica. Dez anos depois os EUA já possuíam 200 usinas hidrelétricas espalhadas pelo país. A partir daí, várias usinas foram instaladas pelo mundo todo, como Canadá, França, Itália e Japão. Na década de 40, as hidrelétricas começaram a perder espaço para as usinas térmicas, por conta de sua maior simplicidade de geração, porém com o passar dos anos, a emissão de carbono foi agravando o efeito estufa e os combustíveis fósseis foram ficando escassos. Assim, a busca por fontes renováveis vem crescendo cada vez mais. No Brasil, a primeira usina hidrelétrica instalada foi na Zona da Mata mineira, no rio Paraibuna, com turbinas importadas dos EUA, há mais de 120 anos, gerando 250 kW. Em 1903, o congresso brasileiro aprovou o primeiro texto de leis que regulamentava a energia elétrica no Brasil. Desde então, o Brasil vem explorando seu potencial hidrelétrico de forma contínua, principalmente nos últimos anos, quando foram projetadas e iniciadas as obras de uma das maiores usinas hidrelétricas do mundo, a usina de Belo Monte. A maior usina hidrelétrica encontrada no Brasil é a usina de Tucuruí, que teve

início de funcionamento no ano de 1984, no rio Tocantins, com capacidade de geração de 8370 MW (SEED, 2015).

As PCHs tiveram grande difusão na década de 1920, onde visavam atingir os sistemas isolados e foram construídas por pequenos empresários da época ou por prefeituras municipais. Nesta época o número de PCHs e micro usinas hidrelétricas passou de 306 para 1009, crescimento que continuou nos anos subseqüentes, porém em taxas menores. Muitas dessas PCHs foram desativadas e substituídas por gerações centralizadas.

#### **4.1.3.1 Histórico das PCHs no estado de São Paulo**

No século XX, as PCHs foram imprescindíveis para o desenvolvimento e para a liderança do estado de São Paulo no quesito modernidade. Em meados do século, as PCHs pareceram ficar obsoletas e foram destinadas a um lugar de menor importância nos fatores econômicos do estado. No início do século XXI, elas despontaram como parceiras essenciais de um novo desenvolvimento, em que se procura revitalizar a economia e a relação com a natureza (MORTATI; ARGOLLO FERRÃO, 2011).

## 4.2 Definição das energias solar, eólica e hidráulica

### 4.2.1 A geração solar

Quase todas as fontes de energia, a chuva, biomassa, combustíveis fósseis e a energia do oceano, são provenientes indiretamente da energia solar. A radiação pode ser ainda convertida diretamente em energia elétrica quando incidida sobre materiais semicondutores. Tais componentes proporcionam energia através do efeito fotovoltaico e foto elétrico (BRASIL, 2005).

#### 4.2.1.1 Viabilidade técnica da geração solar

Além das condições atmosféricas, como a nebulosidade e a umidade relativa do ar, existem outros fatores que interferem na radiação solar no painéis fotovoltaicos. Devido a inclinação do eixo de rotação da terra, existem algumas regiões onde a incidência solar ocorre com maior intensidade e por maior tempo durante o dia. A época do ano também pode ser considerada um fator decisivo para o cálculo dos níveis de radiação solar. A figura 1 demonstra como cada estação influencia diretamente na geração solar (BRASIL, 2005).

**Figura 1 – Influência das estações do ano na radiação solar terrestre.\***



\*Extraído de BRASIL, 2005.

Pode-se observar que principalmente durante o verão, a incidência solar tem mais efeito, logo, a geração solar se torna mais efetiva. O que define a viabilidade da usina solar em uma determinada região é basicamente a radiação solar efetiva. Alguns fatores, como nuvens, gases e partículas atmosféricas, atenuam em cerca de 30% a incidência que chega na camada terrestre (BRASIL, 2006). Para estimar o fluxo de radiação na superfície, existem parametrizações que se baseiam em dados coletados por satélites ou na superfície e para que a estimativa seja feita são utilizados dados físicos ou estatísticos. O mapeamento de radiação solar no Brasil é feito pelo INPE utilizando o modelo BRASIL-SR, que é um modelo que se baseia em cálculos físicos e foi

desenvolvido com base no modelo IGMK de autoria de pesquisadores do GKSS Forschungszentrum e descrito por Stuhlman et al. (1990). A média anual brasileira apresenta altos níveis de radiação solar, variando entre  $4,25 \text{ kWh/m}^2$  até  $6,5 \text{ kWh/m}^2$  dependendo da região analisada (BRASIL, 2006).

#### 4.2.1.2 Impactos socioambientais da usina solar

Uma das restrições técnicas no uso de placas solares é a baixa eficiência do material usado (apenas 15% de aproveitamento da radiação total), o que torna necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento se torne economicamente viável. Contudo, se comparado a outros recursos, como o recurso hidráulico, essa restrição não é tão agravante. Assumindo que o índice médio de radiação solar no Brasil é de  $5 \text{ kWh/m}^2$  (BRASIL, 2006) ao ano, uma média de consumo anual de 590,5 TWh (BRASIL, 2014), uma área inundada por hidrelétricas de  $37576 \text{ km}^2$  (Brasil, 2014) e um aproveitamento de 15% dos painéis, teóricamente, seria necessário 5,8% da área inundada para suprir a demanda nacional. Além dos dados nacionais, pode-se analisar grandes melhorias sustentáveis na região Norte, como a adição de placas solares nas usinas termelétricas, o que faria com que emissão de gases que agravam o efeito estufa diminuíssem, além de baratear a geração a longo prazo (BRASIL, 2006).

#### 4.2.2 A geração eólica

Na geração eólica, a energia cinética dos ventos é convertida em energia de rotação, que move o rotor de um gerador e transforma a energia mecânica em elétrica. A produção de eletricidade no Brasil a partir da fonte eólica alcançou 12.210 GWh em 2014, equivalente a um aumento de 85,6% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 6.578 GWh, o que demonstra o grande interesse brasileiro neste tipo de produção de energia. Entretanto, na região Norte, este tipo de geração não é encontrado (BRASIL, 2014).

##### 4.2.2.1 Viabilidade técnica da usina eólica

Os princípios da tecnologia de uma turbina eólica são captar o vento que passa através de uma certa área e transferir a energia cinética para o rotor do gerador (KARKI et al., 2006). A potência (W) gerada é função do cubo da velocidade do vento  $v$ :

$$P = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p \eta$$

Onde:

$$\rho = \text{densidade do ar em } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$A_r = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ em que } D \text{ é o diâmetro do rotor}$$

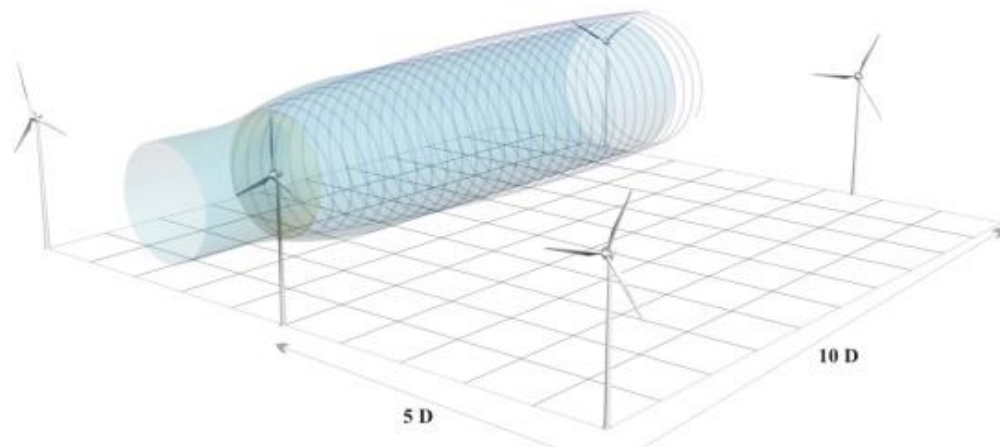


$C_p$  = coeficiente aerodinâmico de potência do rotor

$\eta$  = eficiência do conjunto gerador – transmissão

A absorção da energia cinética dos ventos faz com que a velocidade do ar a jusante do rotor caia, se reestabelecendo após certa distância ao se juntar novamente com as massas de ar. Na prática, essa distância varia com a velocidade do vento e o critério utilizado no posicionamento dos cataventos é 10 vezes o diâmetro  $D$  para situações a jusante e 5 vezes esse diâmetro quando são colocadas lado a lado (BRASIL, 2001). A figura 2 explicita esse posicionamento.

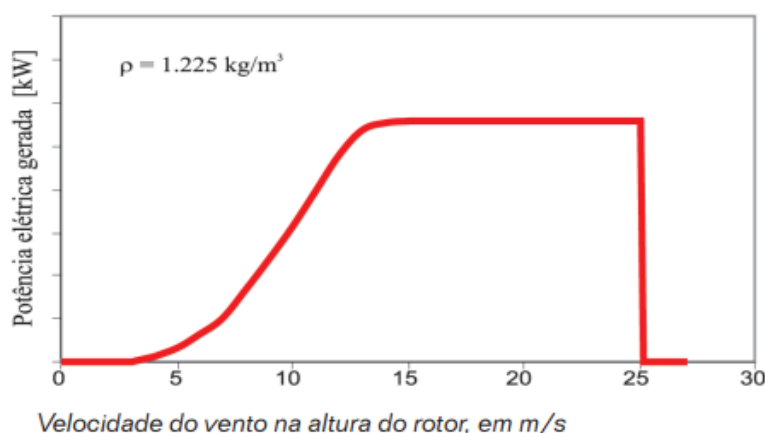
**Figura 2 – Posicionamento dos aerogeradores em uma usina eólica\***



\*Extraído de BRASIL, 2001.

Um limite de importante consideração é a velocidade máxima de rotação que um aerogerador suporta sem se danificar. A partir de uma velocidade do vento de 3 m/s a geração se inicia, tendo limite em 15 m/s. Além desta velocidade, as pás são inclinadas para que o rotor não atinja velocidades angulares muito altas. O limite superior é de 25 m/s, onde começam a ocorrer turbulências, fenômeno que pode causar danos significantes à estrutura (BRASIL, 2001). A figura 3 exemplifica graficamente:

**Figura 3 – Potência gerada por um aerogerador em relação à velocidade do vento\***



\*Extraído de BRASIL, 2001.

Segundo o Atlas eólico do Brasil (2001), os melhores potenciais eólicos estão no litoral das regiões Norte e Nordeste, onde a velocidade média do vento, a 50 m do solo, é superior a 8 m/s. Entre outras regiões com grande potencial eólico, destacam-se o Vale São Francisco, o Sudoeste do Paraná e o Litoral Sul do Rio Grande do Sul. Embora ainda haja divergências entre especialistas e instituições na estimativa do potencial eólico brasileiro, vários estudos indicam valores extremamente consideráveis. Até poucos anos, as estimativas eram da ordem de 20 GW, hoje a maioria dos estudos indica valores maiores que 60 GW (BRASIL, 2015).

#### **4.2.2.3 Impactos socioambientais da usina eólica**

Entre os principais impactos socioambientais de usinas eólicas destacam-se os sonoros e os visuais. Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos e para serem evitadas devem ser instaladas no mínimo a 300 metros de áreas residenciais, já os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas. Apesar de efeitos negativos, como alterações na paisagem natural, esses impactos tendem a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional (MASTERS, 2004).

Outro impacto negativo de centrais eólicas é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados (rádio, televisão, etc.). E interferências variam muito de acordo com o local de instalação da usina e suas especificações técnicas e particularmente o material utilizado na fabricação das pás. Também a possível interferência nas rotas de aves deve ser devidamente considerada nos estudos e

relatórios de impactos ambientais, porém o aumento do tamanho da hélice faz com que a rotação diminua, fazendo com que os pássaros consigam evitar colisões (TAYLOR, 1996).

### 4.2.3 Geração hidráulica

O uso da energia hidráulica foi o primeiro meio utilizado pelo homem para substituir o esforço humano ou animal. A energia hidráulica resulta da irradiação solar sobre a superfície terrestre fazendo com que a água contida na mesma evapore e se transforme em chuva. O Brasil possui forte relação com esse tipo de geração, tendo participação de quase 62% da energia elétrica total gerada no Brasil (BRASIL, 2014). Apesar do aumento da utilização de outras fontes, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo a principal fonte de energia do Brasil.

#### 4.2.3.1 Viabilidade técnica das grandes centrais hidráulicas e PCHs

A construção de uma PCH se assemelha muito com a construção de usinas hidrelétricas de grande porte, isto é, os passos a serem seguidos no projeto para a construção e viabilização de ambas são iguais, porém, o projeto de uma PCH é um tanto quanto menor.

Para que seja possível construir uma PCH, é necessário ter os seguintes itens no local de sua construção:

- **Recursos Hídricos:** É necessário que no local tenha uma vazão suficiente para que seja possível gerar energia elétrica;
- **Queda:** A queda também é um fator importante, pois quanto maior a queda, mais energia a água terá para ceder para as máquinas.
- **Linha de Transmissão:** Serve para conectar a PCH no SIN, caso o produtor queira vender a energia produzida.

A vazão e a queda apresentam uma relação muito forte. Normalmente quando se há uma queda elevada, a vazão é baixa, e vice-versa. Isto implica em usos diferentes de turbinas para a geração de energia, porém este tópico não será abordado neste trabalho (BRASIL, 2007).

Muitas vezes só estão disponíveis os dois primeiros itens, porém não há linha de transmissão passando pelo do local, e uma implementação deste encareceria demasiadamente o projeto inviabilizando a construção da PCH.

Uma PCH também pode ser construída apenas para alimentar uma única carga, uma vez que o produtor pode não ter a intenção de vender energia para o SIN, e com isso a necessidade da linha de transmissão é descartada. Como exemplo de produtores que utilizam a PCH apenas para alimentar suas cargas tem-se: fazendas, pousadas, indústrias de pequeno porte, entre outros (BRASIL, 2007).

#### 4.2.3.1.1 Restrições das PCHs

Segundo Souza et al. (2009), a ANEEL, em sua Resolução 652, publicada no Diário Oficial da União de 10/12/2003 estabelece os seguintes critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de PCH:

- Potência do aproveitamento superior a 1 MW e inferior a 30 MW, destinado à produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma.
- Ter área do reservatório delimitada pelo nível de água máximo normal igual ou inferior a 3  $km^2$ .
- Nível de água a jusante da casa de máquinas, determinado para a vazão correspondente ao somatório dos engolimentos máximos de todas as turbinas, sem considerar a influência da vazão vertida.

#### 4.2.3.2 Impactos socioambientais

No ponto de vista social, essas usinas representam um importante fator de desenvolvimento, pois aumentam a oferta de energia barata, suprimindo necessidades de comunidades próximas e levando eletricidade a novos consumidores, principalmente os de baixa renda, residentes em regiões onde o grande sistema elétrico nacional não alcança (BRASIL, 2005). Se comparadas com as hidrelétricas convencionais, as PCHs tem seu impacto ambiental reduzido por possuírem a área de alagamento reduzida e poderem operar a fio d'água, fatores que aumentam o aproveitamento de quedas naturais de forma mais eficiente e evitando a construção de grandes barragens (PRADO JR; AMARAL, 2000). Apesar disso, a construção de PCHs deve ser feita com os mesmos cuidados que deveriam ser observados nos grandes aproveitamentos hidrelétricos. As usinas hidrelétricas em geral acabam inundando áreas produtivas ou com grande diversidade biológica e pode resultar na realocação de animais silvestres e contingente de pessoas (SOUZA et al., 2009). Além disso, os reservatórios podem beneficiar certas espécies da região, não necessariamente as mais importantes, que podem ainda ser nocivas ao ser humano, como parasitas e transmissores de doenças endêmicas, como malária e esquistossomose. Entretanto, com um estudo prévio bem realizado, as PCHs diminuem tais impactos e é possível que sua instalação seja feita em locais menos propensos a desordens naturais (BRASIL, 2007).

### **4.3 O Brasil**

O Brasil é o maior país da América Latina, possuindo cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, o que equivale a 47% do território total latino-americano e mais de 200 milhões de habitantes (BRASIL, 2011). Graças a sua grande diversidade climatológica, a forte incidência solar, os altos índices de chuva, a grande recorrência de ventos e a biodiversidade vegetal, o potencial de geração elétrica nacional é vasto e possui formas diversificadas de exploração. Atualmente, são encontrados vários tipos de geração de energia já implementados, sendo alguns mais antigos, como a hidráulica e a térmica, e outros recentes, como a eólica e solar.

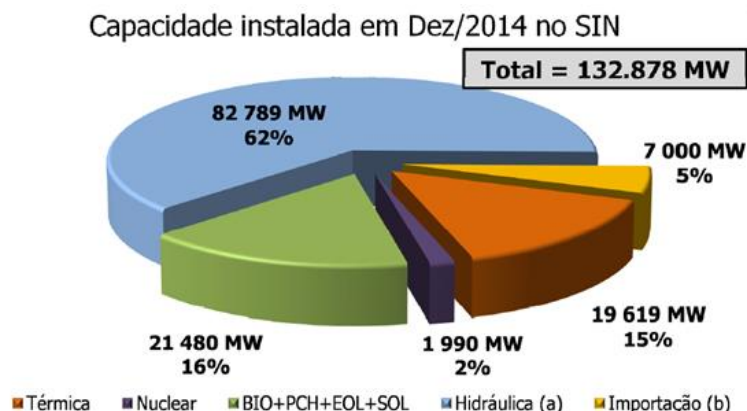
#### **4.3.1 Crescimento energético no Brasil**

O cenário econômico elaborado para os próximos dez anos se baseia em um período de crescimento moderado da economia mundial, enquanto o Brasil passa por um período inicial de ajustes que possibilitam um maior ritmo de crescimento nos anos posteriores (BRASIL, 2015).

No ano de 2014, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 133,914 GW, acréscimo de 7,171 GW. Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, enquanto as centrais térmicas responderam por 18,1% da capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 37,6% restantes de aumento da capacidade nacional (BRASIL, 2015). Pode-se perceber um aumento considerável no uso da energia eólica e solar em relação ao ano anterior, que apresentou uma parcela de apenas 5% no crescimento de 2013 (BRASIL, 2014). Estes dados mostram o quanto o interesse do Brasil cresceu para obter fontes de energia cada vez mais limpas, e abriu as portas para que os potenciais eólicos e solares sejam fortemente explorados.

#### **4.3.2 Tipos de geração no Brasil**

Em sua maioria, o Brasil mantém seu desenvolvimento via energias hidráulica e térmica, porém as fontes alternativas sustentáveis vêm ocupando seu espaço de forma considerável, ultrapassando (quando somadas) a geração térmica e atingindo o segundo lugar no ranking. O gráfico 1 demonstra a atual situação da capacidade de geração brasileira.

**Gráfico 1 – Capacidade instalada no SIN por fonte.**

\*Extraído de BRASIL, 2015.

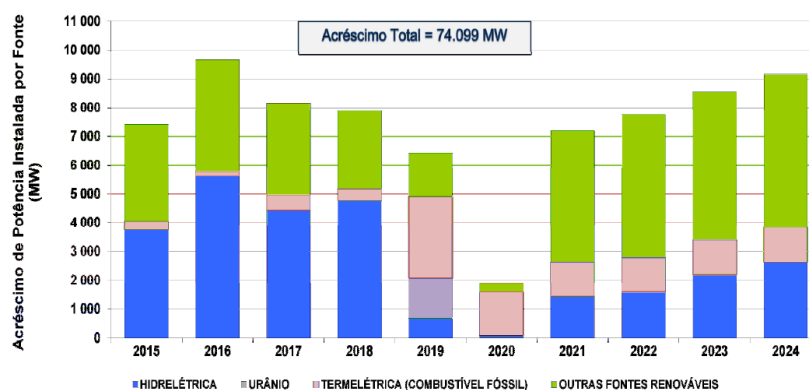
Atualmente o Brasil possui 4323 empreendimentos em operação, totalizando aproximadamente 139 GW de potência instalada (BRASIL b, 2015). Para os próximos anos está prevista uma adição de 41,6 GW nesta capacidade, proveniente de 225 empreendimentos com construção iniciada e 671 em projeto, esperando o início das obras. A tabela 1 faz a relação de cada tipo de geração já em operação, em construção e com construção ainda não iniciada.

**Tabela 1 – Usinas com construção não iniciada, construção iniciada e em operação por fonte de geração.\***

Tipo de Geração	Construção Não Iniciada		Construção Iniciada		Em operação	
	Quantidade	Potência (kW)	Quantidade	Potência (kW)	Quantidade	Potência (kW)
CGH	40	27599	1	848	527	371385
Eólica	303	7149454	158	3851012	275	6718333
PCH	132	1878929	34	414600	467	4835899
Fotovoltaica	40	1142975	-	-	25	25233
Hidrelétrica	5	479000	11	15269142	198	85353663
Termelétrica	150	8453882	20	1634639	2829	39719134
Nuclear	-	-	1	1350000	2	1990000
<b>Total</b>	<b>671</b>	<b>19131829</b>	<b>225</b>	<b>22520241</b>	<b>4323</b>	<b>138960184</b>

\*Extraído e modificado de BRASIL, 2015b.

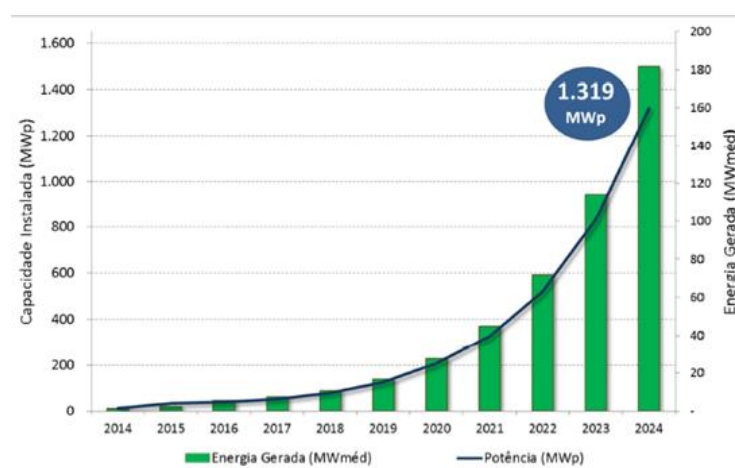
As gerações do tipo hidráulica e térmica ocupam a maior parte entre todos os outros tipos e a pretensão do uso dessas fontes continua forte. Porém, pode-se observar uma grande diferença em relação as usinas eólicas e fotovoltaica já construídas e em construção, ou em projeto, já que o número de usinas futuras tende a dobrar o número atual das usinas em operação (BRASIL, 2015). Este fato prova a grande intensão brasileira no uso de energias cada vez mais limpas e sustentáveis. O gráfico 2 expõe o crescimento contratado e planejado por fonte.

**Gráfico 2 – Acréscimo da Potência Instalada por Fonte.\***

\*Extraído de BRASIL, 2015.

#### 4.3.2.1 Participação da energia solar na matriz energética nacional

As usinas solares representam 0,02% da capacidade total instalada no país, o que representa 25,233 MW. Este número mostra a falta de interesse nos anos anteriores neste tipo de usina. Porém, como se pode ver na tabela 1 os futuros empreendimentos pretendem alcançar 1142,975 MW de potência outorgada. No Brasil, no ano de 2014, aconteceu o primeiro leilão em que foi contratada a energia proveniente de plantas fotovoltaicas centralizadas. Em sistemas de pequeno porte o Brasil pretende aumentar a GD de energia solar em 1,6 TWh em 2024, devido à penetração de sistemas de geração solar fotovoltaica nas classes residências e comerciais (BRASIL, 2015). O gráfico 3 mostra a evolução da geração solar no Brasil para os próximos dez anos.

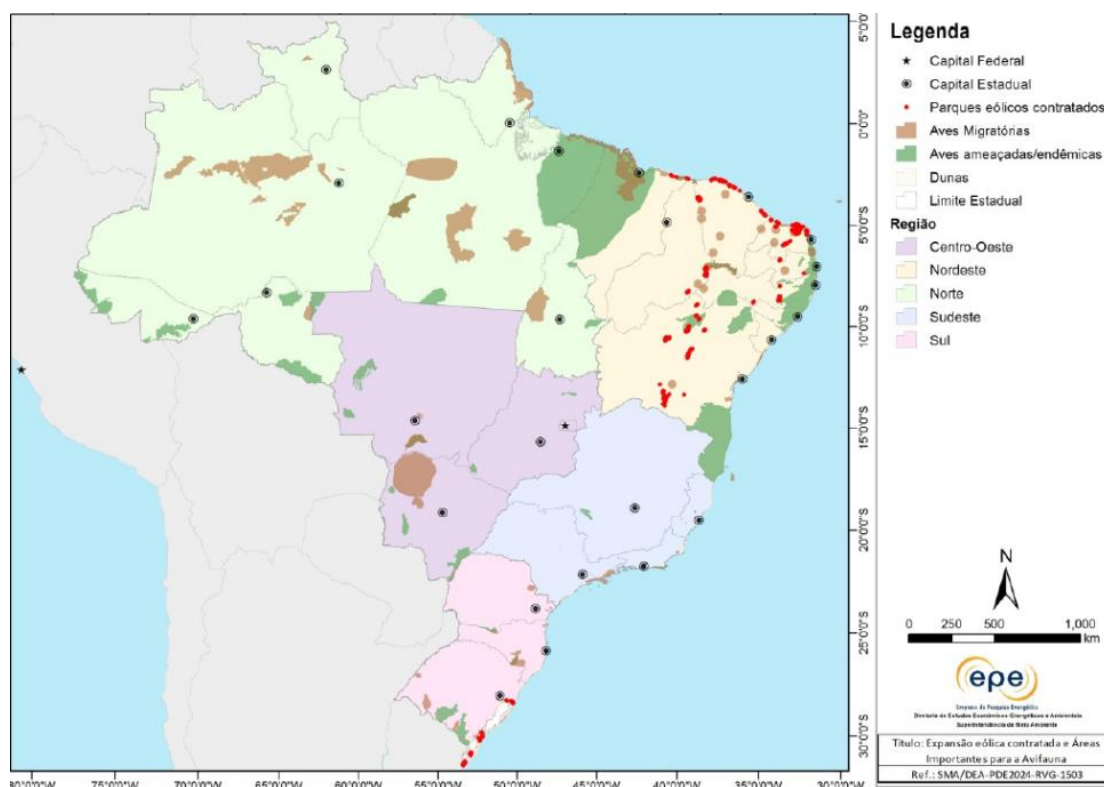
**Gráfico 3 – Crescimento da Capacidade Instalada da Energia Solar nos próximos dez anos.\***

\*Extraído de BRASIL, 2015.

#### 4.3.2.2 Participação da energia eólica matriz energética nacional

A participação da geração eólica na matriz nacional atualmente atinge cerca de 4,8% da capacidade total do Brasil. Valor que corresponde a 6718,333 MW de potência. Em conjunto com a energia solar, a geração eólica apresenta um grande interesse no meios futuros de geração no país, possuindo 3851,012 MW de potência em construção e 7149,454 MW de potência outorgada para futuros empreendimentos. A expansão eólica prevê 18.909 MW de potência, distribuídos no Nordeste e Sul do Brasil. A maior parte dessa energia tem previsão de ser instalada nos primeiros cinco anos do horizonte decenal (10.909 MW). A figura 4 demonstra a expansão eólica prevista para 2024 (BRASIL, 2015).

**Figura 4 – Futuros Parques Eólicos no Brasil.\***



\*Extraído de BRASIL, 2014a.

#### 4.3.2.3 Participação das PCHs na matriz energética nacional

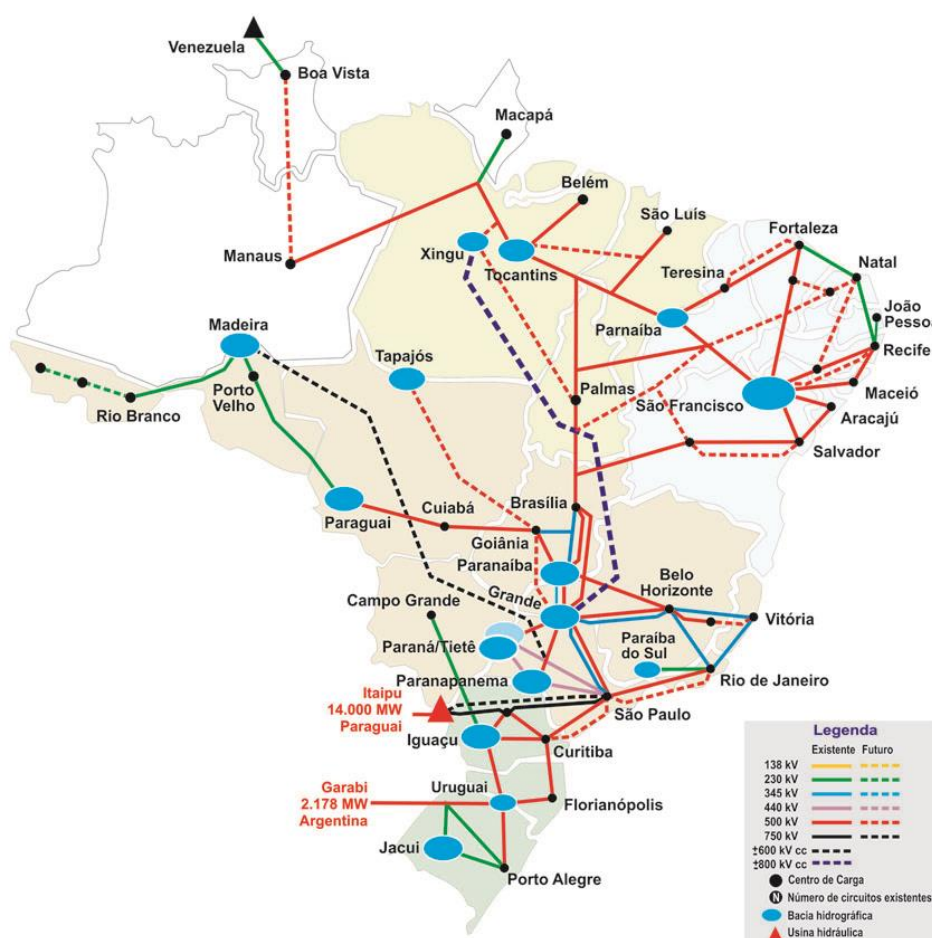
Atualmente 467 PCHs estão em operação, contribuindo com 3,47% da capacidade total do país, ou 4822,945 MW. O método de geração mais dominado pela matriz energética brasileira não tem intensão de parar seu crescimento, principalmente em níveis menores, como as PCHs. Os futuros 132 empreendimentos com potência outorgada, representam 1878,929 MW de capacidade e os projetos já em construção, possuem capacidade de 414,600 MW distribuídos em 34 novos empreendimentos (BRASIL, 2015b).



#### 4.4 Geração distribuída

O termo geração distribuída veio a tona recentemente, porém já era abordado por Thomas Edison, desde a criação do seu primeiro sistema de geração de energia em Nova York. O desenvolvimento da corrente alternada possibilitou que transmissões entre grandes distâncias fossem efetuadas, já que assim foi possível o aumento e a diminuição da tensão de formas convenientes, de forma que a energia transmitida não dependesse da bitola do condutor por conta de grandes correntes. Com o surgimento de grandes sistemas de energia, a confiabilidade na entrega da energia elétrica aumentou, uma vez que caso uma usina se apresentasse problemática, existiam outros pontos para suprir o gerador defeituoso. Desde então, transmissões a níveis internacionais foram capazes de atender a demanda dos países e, por forma de intercâmbio, de países vizinhos. O Sistema Interligado Nacional (SIN) brasileiro atinge quase todo o território, com exceção à região Norte, onde apenas uma pequena parcela está conectada, devido a sua baixa densidade demográfica (BRASIL, 2014a). A figura 5 expõe o SIN no território brasileiro.

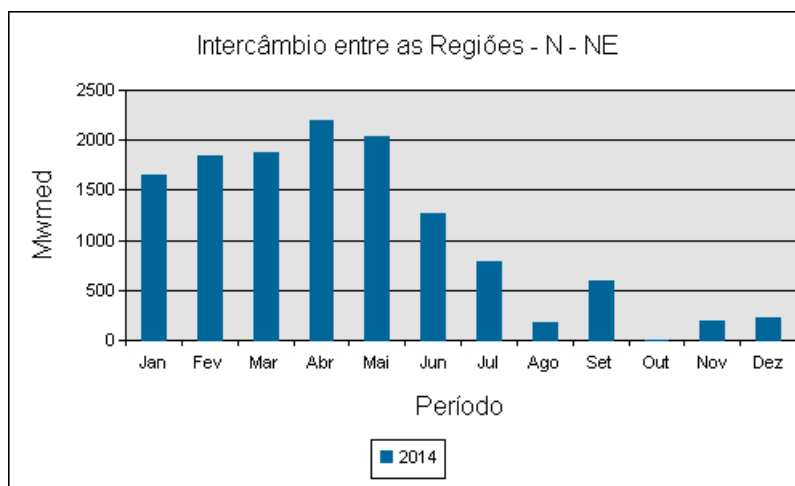
**Figura 5 – Sistema Interligado Nacional (SIN).\***



\*Extraído de BRASIL, 2015d.

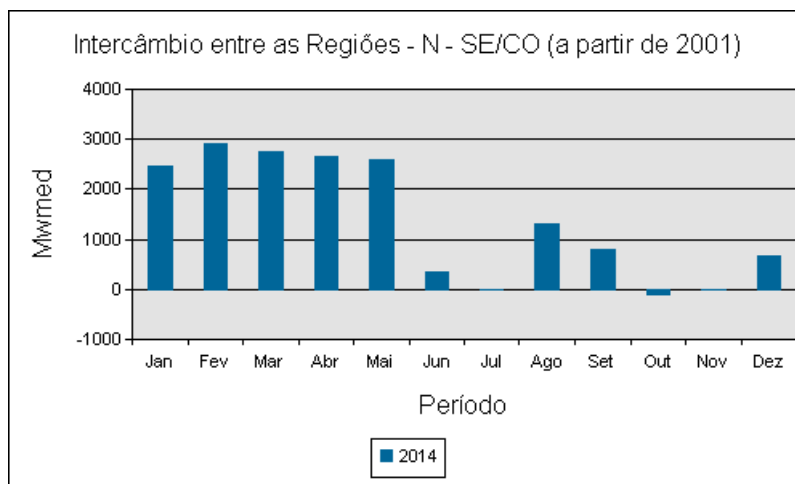
A partir deste mapeamento, é possível perceber que a região Norte possui grandes pólos de geração, porém estes pólos tem como foco o intercâmbio de energia entre os estados, para assegurar o fornecimento constante mesmo em épocas críticas, e não a demanda interna. Os gráficos 4 e 5 mostram o direcionamento da potência gerada pela região Norte para as regiões Centro Oeste e Sudeste e para a região Nordeste no ano de 2014.

**Gráfico 4- Intercâmbio de Energia Elétrica entre as Regiões Norte e Nordeste.\***



\*Extraído de BRASIL, 2015d.

**Gráfico 5 - Intercâmbio de Energia Elétrica entre as Regiões Norte e Nordeste.\***



\*Extraído de BRASIL, 2015d.

Apesar da grande potência gerada na atualidade, os grandes centros de geração, como Belo Monte e São Luiz do Tapajós no Pará e as Usina Hidrelétrica (UHEs) de Jirau e Santo Antônio em Rondônia, não foram projetados apenas para atingir a demanda interna atual, mas também para atender o futuro crescimento das regiões demograficamente mais densas, como o Sudeste e Nordeste, que apresentam grande parte do seu potencial energético já utilizado (BRASIL, 2015a). Tal fato pode

ser explicado pela construção de linhas de transmissão de corrente contínua, ideais para o intercâmbio entre grandes pólos localizados entre grandes distâncias.

Para atender a demanda interna da região Norte de forma sustentável e visando evitar as perdas do sistema elétrico nos próximos anos, a geração distribuída passa a ser cada vez mais valorizada. A GD deriva de duas formas de geração: a reserva descentralizada e a fonte de energia. A primeira delas visa suprir as mais diversas necessidades, como falhas no sistema ou aumento inesperado da demanda. Já a outra age essencialmente para atingir cargas próximas, como o autoconsumo (hospitais, usinas sucroalcooleiras, aeroportos) com ou sem geração excessiva para venda ao sistemas interligado. Por ser versátil quanto a sua localização, a GD abrange vários tipos de fontes energéticas, como solar, biomassa, eólica e PCHs (BRASIL, 2014a).

#### 4.4.1 Geração distribuída no Brasil

Em 2001, o Brasil passou por uma crise energética devido aos baixos níveis nos reservatórios das grandes centrais hidrelétricas. Assim, para compensar o dano causado pelo período de escassez, em 2001 foi criada a Câmara de Gestão da Crise Energética (CGE), que previa soluções a curto prazo, visando um aumento na oferta de energia. Tal fato permitiu que as fontes alternativas ganhassem força e possibilitaram a difusão dos focos de geração, incentivando também, atingir os locais onde o SIN não alcançava. Atualmente, a GD é responsável por 22,83% da energia elétrica brasileira, chegando a 28,535 GW de potência (BRASIL, 2014a). A tabela 2 explicita a situação do Brasil nos últimos anos.

**Tabela 2 – Geração Centralizada e Geração Distribuída no Brasil.\***

Geração	Tipo	Quantidade	Potência (kW)	%
Centralizada	Hidrelétrica	198	87701249	61,4
	Termelétrica (Petróleo)	962	7167858	5,87
	Termelétrica (Carvão Natural)	10	1994054	1,74
	Nuclear	2	1990000	1,43
Distribuída	Termelétrica (Gás Natural)	146	13393469	11,6
	Termelétrica (Biomassa)	437	9349937	8,35
	PCHs e CGHs	994	5207411	3,74
	Eólica	275	6718333	4,81
	Fotovoltaica	25	25233	0,02

\*Extraído e modificado de BRASIL, 2015b.

Estima-se que a GD será cada vez mais abundante no Brasil, visto que fontes alternativas de produção de energia é uma tendência mundial (BRASIL, 2015). O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), estimula e participa de forma

expressiva nesta contribuição. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica foi criado em 2002 através da lei 10.438, de 26 de abril, com o intuito de aumentar a participação da geração sustentável no Brasil.

O Ministério de Minas e Energia (MME) estima que em 2030 o Brasil terá quase metade de sua geração distribuída, sendo elas por fontes alternativas de energia e no horizonte decenal, estima-se que a GD (grande e pequeno porte) permita reduzir o consumo do SIN, em um total de 100 TWh em 2024 (BRASIL, 2015). As energias nuclear, carvão mineral e o gás natural também terão uma maior participação relativa na capacidade total de geração brasileira, fazendo com que a influência relativa das hidrelétricas seja menor (BRASIL, 2007). A diversidade da energia é um fator favorável, uma vez que não se depende de poucas fontes de recursos.

#### **4.4.1.1 O porquê do crescimento da GD no Brasil**

De alguns anos pra cá, surgiram grandes tendências no Brasil para o incremento da GD. Alguns motivos, segundo Dias (2005), para essas tendências são:

- Desejo dos consumidores na diminuição das tarifas de energia elétrica e de melhorar a confiabilidade desse suprimento. Com o aumento dos preços aplicados pelas concessionárias e às deficiências das mesmas.
- Reestruturação do sistema de energia atual. A criação de consumidores autoprodutores e comercializador de energia, oportunidade de produtores independentes de energia a ter acesso ao sistema interligado.
- Conscientização dos problemas ambientais, tendendo a utilização de fontes renováveis de energia.
- Progresso no controle de processamento e de transmissão de dados, viabilizando a operação de sistemas elétricos cada vez mais complexos.

#### **4.4.2 Vantagens da GD**

A GD apresenta uma série de vantagens e desvantagens, sendo que algumas delas decorrem de sua proximidade ao local de consumo. O crescimento da demanda exige a criação de novos centros de geração e como boa resposta a esse desenvolvimento, empreendimentos menores são mais rápidos de serem efetivados e exigem menos material de transmissão e distribuição, já que estão localizados próximos aos consumidores. Este fator também diminui a probabilidade da ocorrência de falhas na transmissão da energia, aumentando a confiabilidade do sistema e possibilitando a existência de reservas energéticas. Além disso, diminui as perdas realizadas na transmissão a longas distância (BRASIL, 2014a).

Resultante destas vantagens ocorre o aumento da eficiência energética, resultando na diminuição do valor final da energia paga pelo consumidor. Em visão nacional e global, a GD diminui o impacto ambiental causado pelos grandes centros, além da descentralização dos empreendedores da

área, fazendo com que a concorrência aumente, desenvolvendo a qualidade do produto final e diminuindo o seu custo (BRASIL, 2014a).

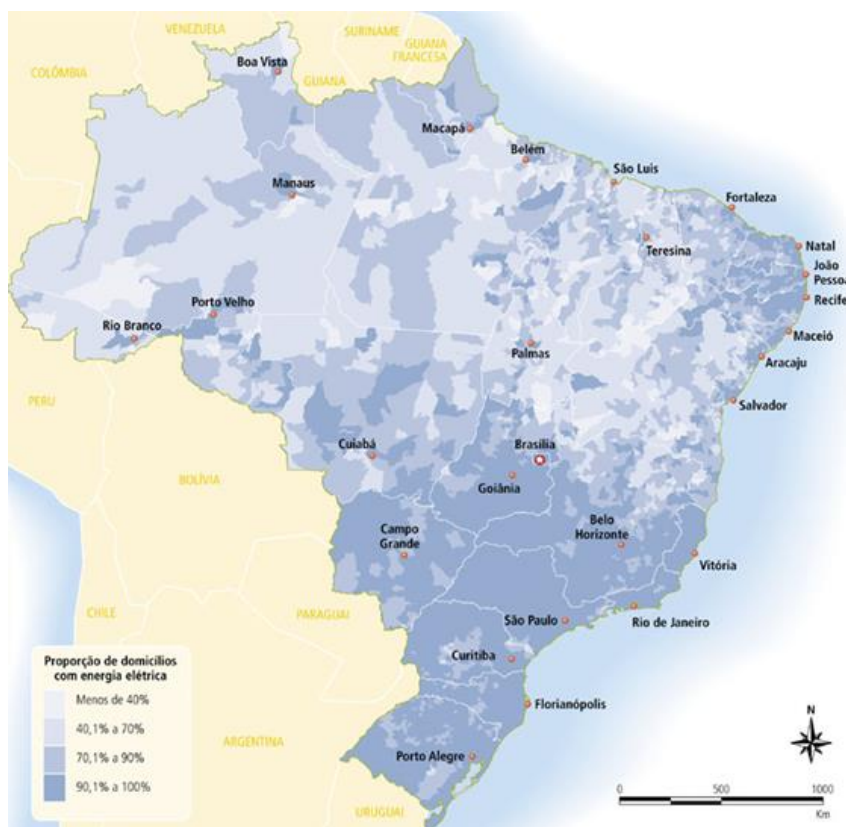
#### **4.4.3 Desvantagens da GD**

Por outro lado, a GD acarreta em uma série de desvantagens, que não podem ser esquecidas. O aumento do número de produtores independentes exige uma maior sincronia do sistema interligado, tornando-o mais complexo de ser operado (DIAS, 2005). Da mesma forma, o planejamento de manutenções e medida de segurança devem ser alinhados entre as empresas para que o consumidor final não seja prejudicado. A abertura de novos empreendimentos devem ser certificados e avaliados, fazendo necessária a implementação de um novo órgão controlador, ou o crescimento do órgão nacional já ativo. O produtor independente ligado ao sistema de transmissão e distribuição não poderá agir de forma independente visando apenas o benefício próprio, principalmente em situações onde o benefício global dos usuário possa ser prejudicado (BRASIL, 2014a).

#### 4.5 O cenário da região Norte na atualidade

A região Norte corresponde a 45% do território nacional, 8% da população brasileira e apenas 4,5% do poder de compra (BRASIL, 2011). É possível observar que a concentração da população dessas regiões encontram-se relativamente forte nas capitais dos estados. O sistema interligado da região Norte, em dezembro de 2014, contava com uma capacidade instalada de cerca de 13.500 MW, representando 10% da capacidade instalada do Brasil. A maior parte deste potencial correspondente à aproveitamentos hidráulicos localizada no estado do Pará (9.700 MW), também merecendo destaque o parque térmico a gás natural instalado na região metropolitana de Manaus (650 MW) (BRASIL, 2015a). A figura 6 demonstra a situação das taxas de eletrificação da região Norte.

**Figura 6 – Mapa de Eletrificação de Domicílios Brasileiros.\***



\*Extraído de BRASIL, 2015b.

Pode-se perceber que esta região apresenta baixos índices de eletrificação no Alto Solimões, no Amazonas, e grande parte do estado do Pará, desde a fronteira com o Mato Grosso até o litoral do Oceano Atlântico. Também é possível observar índices muito baixos na região central do acre, no sudoeste do Amazonas e no leste do Tocantins. Um indicador fortemente relacionado ao grau de desenvolvimento econômico de uma região é a taxa de eletrificação que a mesma apresenta (BRASIL, 2011). Logo, o desenvolvimento da região Norte depende rigidamente de boas fontes de energia para que seu crescimento populacional ocorra de forma estruturada.

O PDE estima que as taxas de crescimento na demanda na região Norte será a maior nos próximos anos, possuindo a intenção de quase dobrar em 2024 (BRASIL, 2015). A tabela 3 de carga de demanda instantânea, desenvolvida pelo PDE, demonstra a estimativa das cargas nos próximos 10 anos.

**Tabela 3 – Variação da Demanda de Energia Elétrica por Região.\***

Ano	Subsistema			Sistema		SIN	
	Norte	Nordeste	Sudeste/CO	Sul	N/NE		S/SE/CO
MW							
2015	6.222	12.913	52.585	17.415	19.091	69.452	87.225
2019	7.492	14.993	58.396	19.508	22.421	76.734	98.362
2024	10.237	19.340	73.758	24.079	29.516	96.419	125.029
Período	Variação (% a.a.)						
2014-2019	3,7	3,9	2,4	1,5	4,1	1,9	2,5
2019-2024	6,4	5,2	4,8	4,3	5,7	4,7	4,9
2014-2024	5,1	4,6	3,6	2,9	4,9	3,3	3,7

\*Extraído de BRASIL, 2015.

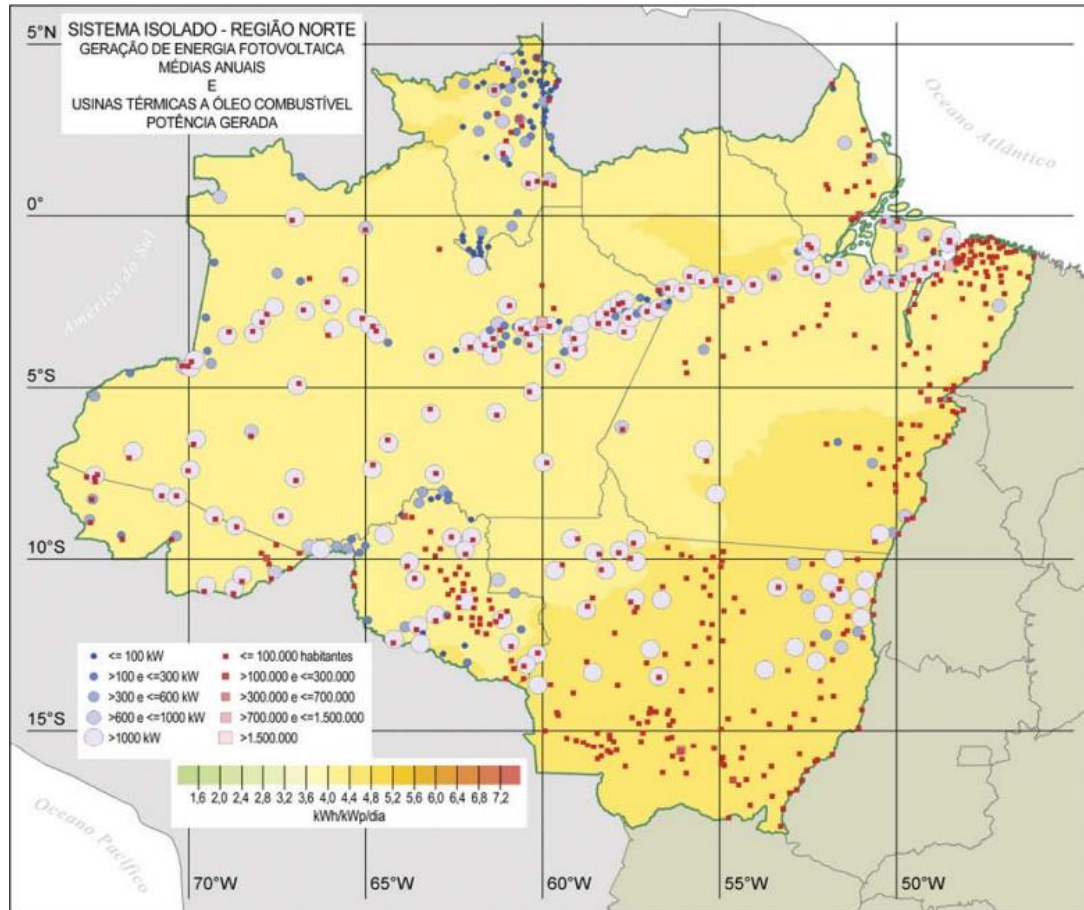
Atualmente, a região Norte é composta por dois tipos de usinas, as termelétricas e as hidrelétricas. As características físicas e geográficas foram determinantes para que sua base de energia fosse constituída por um sistema hidrotérmico com predominância hidráulica. Segundo dados do Balanço Nacional Energético, a região Norte possui 16,07 GW (18% do total hidráulico nacional) instalados de geração hidráulica e 3,684 GW (9,7% do total de termelétricas) de geração térmica. Parte da energia gerada na região Norte é compartilhada com outras regiões, uma vez que sua carga interna é de apenas 6,222 GW. Não há registros de produção de energia gerada através dos ventos, nem por meio da radiação solar nesta região do país (BRASIL, 2015a).

#### 4.5.1 Energia Solar na região norte

O potencial de uso de células fotovoltaicas especificamente na região Norte é imenso, principalmente na região amazônica. Este potencial pode ser estimado em centenas de MW se mesmo apenas uma parcela das 268 termelétricas a diesel da região utilizassem os módulos solares. A figura 7 apresenta a localidade de tais usinas juntamente com as médias anuais de radiação solar, com um fluxo médio de radiação de  $5,5 \text{ MW}/\text{m}^2$  (BRASIL, 2006).



**Figura 7 – Localização das Possíveis Usinas Fotovoltaicas na Região Norte.\***



\*Extraído BRASIL, 2006.

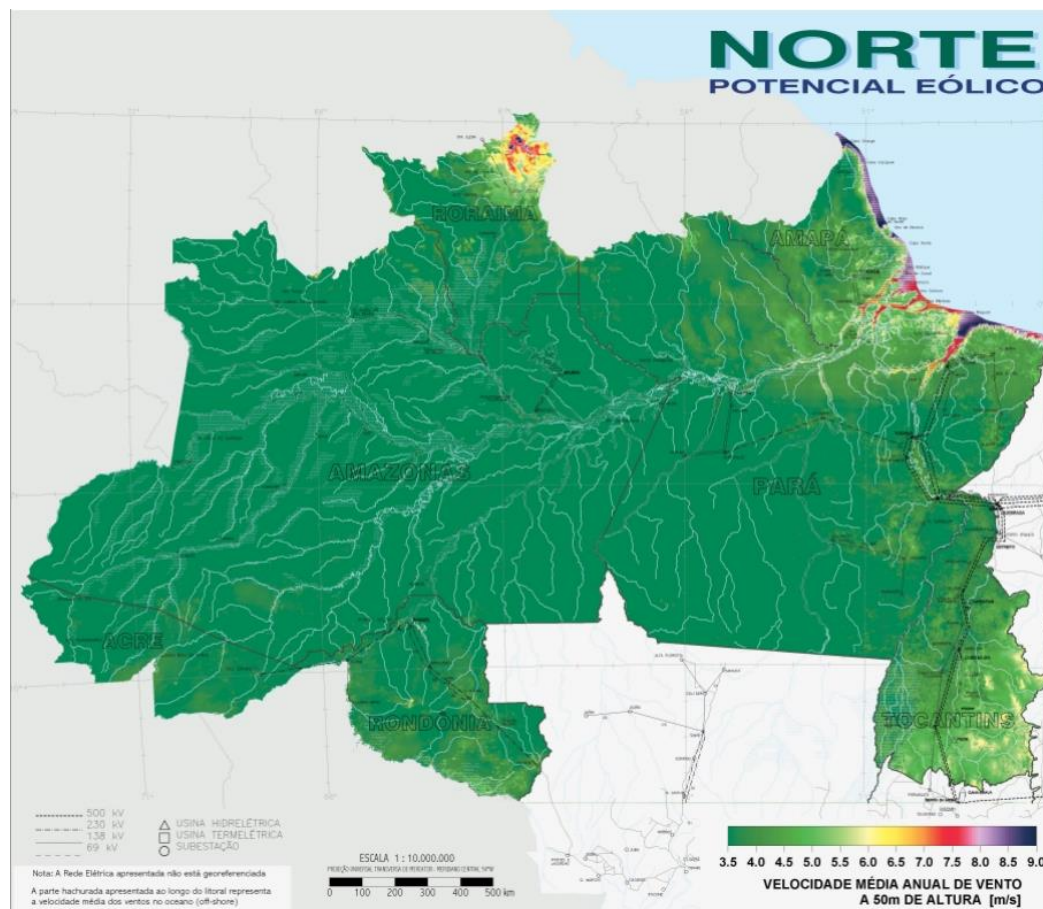
Além disso, a distribuição da radiação solar é consideravelmente alta e a variação sazonal é baixa, o que mantém a geração mais estável durante todas as épocas do ano (BRASIL, 2006).

#### 4.5.2 Energia eólica na região norte

A região Norte do país mostram que o litoral desta região apresenta uma potencial considerável. A figura 8 mostra a possível área em potencial para instalações de usinas eólicas (BRASIL, 2001).



**Figura 8 – Potencial Eólico da Região Norte.\***



\*Extraído de BRASIL, 2001.

Pode-se perceber que além da região litorânea, o extremo norte do estado de Roraima também apresenta um potencial considerável para a instalação de aerogeradores. Estas duas áreas com forte potencial possuem um fator positivo para sua aplicação, sua densidade demográfica são as maiores da região Norte. A geração eólica nestes pontos foi estimada pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica em 12,8 GW de capacidade, podendo atingir níveis de energia anuais de 26,4 TWh/ano.

#### 4.5.3 Energia hidráulica na região norte

A Região Norte, em especial, tem um grande potencial por explorar, possuindo cerca de 60% da capacidade hidráulica de geração do Brasil. Algumas usinas em licitação, ou já em estado de obras, participarão da lista das maiores usinas do Brasil, sendo elas: Belo Monte (11233 MW), São Luiz do Tapajós (8318 MW), Jirau (3750 MW) e Santo Antônio (3150 MW) (BRASIL a, 2015). A figura 9 expõe o mapeamento hidrológico da região.

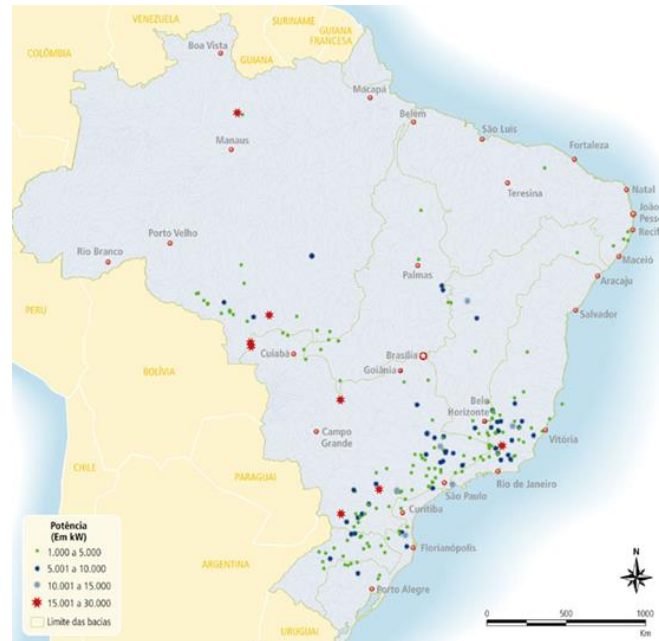
**Figura 9 – Hidrologia da Região Norte.\***



\*Extraído e Modificado de BRASIL, 2015e.

Apesar do imenso potencial da região, as PCHs não estão inseridas de forma a se aproveitar a abundância dos rios, possuindo apenas 18 empreendimentos no estado de Rondônia, 15 no estado do Tocantins, 3 no estado do Pará, 1 em Roraima e 1 no estado do Amazonas, não foram apresentadas PCHs nos estados do Amapá e do Acre (BRASIL b, 2015). A figura 10 demonstra a situação.

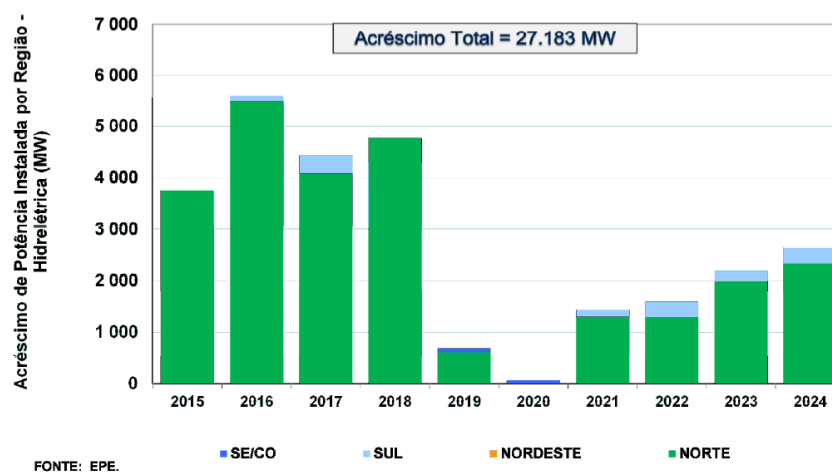
**Figura 10 – Pequenas Centrais Hidrelétricas no Território Brasileiro.\***



\*Extraído de BRASIL, 2015.

Apesar do número baixo de empreendimentos, a região Norte possuirá o maior crescimento hidrelétrico dos últimos anos, com um acréscimo de mais de 27 GW de potência instalada até 2024 (BRASIL, 2015). O gráfico 6 mostra como a expansão hidráulica ocorrerá nesta região nos próximos anos.

**Gráfico 6 – Acréscimo de Potência Instalada por Região.\***



\*Extraído de BRASIL, 2015.

O fato do maior potencial brasileiro estar localizado na região norte, aumenta a probabilidade de interferência de órgãos ambientais, pois tal região apresenta a maior área legalmente

protegida do país. Desta forma, a alternativa de PCHs em vez de UHEs, que apesar de causarem impactos socioambientais menores, são exigidos os mesmo estudos e licenciamentos realizados para sua implantação. As PCHs não possuem expressivos impactos diante da expansão e das sensibilidades regionais (BRASIL, 2015). Por outro lado, as UHEs possuem vários entraves socioambientais em sua alocação no potencial da região amazônica, como, interferência na biodiversidade aquática, perda da vegetação nativa e ocupação de áreas indígenas.

#### 4.6 Tendência de crescimento energético na região Norte

A região Norte apresentou significativos crescimentos na exploração energéticas nos últimos anos, possuindo fortes tendências de crescimento no futuro. A tabela 4 exibe como a exploração energética vem crescendo desde o ano 2000, para gerações ligadas ao SIN.

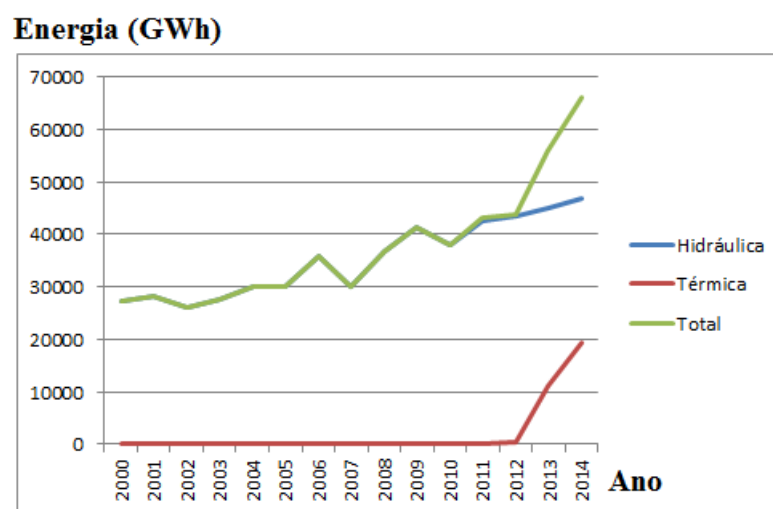
**Tabela 4 - Histórico de Exploração na Região Norte\***

Crescimento da Geração Energética na Região Norte (GWh)			
Ano\Tipo	Hidráulica	Térmica	Total
2000	27438.77	0	27438.77
2001	28256.06	0	28256.06
2002	26035.21	0	26035.21
2003	27526.37	0	27526.37
2004	30168.5	0	30168.5
2005	30091.29	0	30091.29
2006	35982.62	0	35982.62
2007	29919.99	0	29919.99
2008	36659.2	0	36659.2
2009	41397.01	0	41409.62
2010	38074.5	12.61	38075.42
2011	42697.64	0.92	43209.59
2012	43446.07	511.95	43958.02
2013	44981.42	11068.52	56049.94
2014	46988.75	19233.12	66221.87

\*Tabela elaborada pelo autor com dados extraídos de Brasil, 2015d.

Analisando a tabela, é possível perceber que a exploração energética da região Norte vem crescendo substancialmente. O gráfico 7 apresenta a curva de crescimento da geração energética.

Gráfico 7 - Crescimento Energético da Região Norte\*



\*Gráfico elaborado pelo autor com dados de Brasil, 2015d.

Pode-se perceber que a exploração hidráulica vem crescendo na região, assim como a geração térmica que passou a compor a matriz energética do Norte. Então, pode-se estimar que a exploração continuará crescendo e diversificando suas fontes, abrindo portas para as gerações eólica, solar e hidráulicas de pequeno porte.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento socioeconômico de um país ou região depende fortemente da energia elétrica, entre outros fatores. O Brasil, por ser um país em desenvolvimento, necessita de fontes de energias mais eficientes e menos poluentes, visando o crescimento sustentável juntamente com a qualidade de vida da sua população. Por ser um país de altos níveis de radiação solar, a geração fotovoltaica é um forte candidato a formas alternativas de geração. Apesar da região Norte não apresentar os maiores índices de radiação nacional, os mesmos são grandes o suficiente para tornar este tipo de geração viável, principalmente na região amazônica, onde a proteção ambiental é mais intensa. A geração eólica possui fortes potenciais em várias áreas do Brasil, como o Nordeste e o litoral sul do Rio Grande do Sul. Já na região Norte, este tipo de geração se torna restrito, uma vez que as áreas de grandes fluxos de vento se apresentam em uma parcela muito pequena da região, localizadas no litoral do estado do Pará e no nordeste do estado de Roraima. Além disso, nesta região do Brasil, próximos a essas áreas, ocorrem grandes fluxos de migração de aves nativas, sendo algumas em iminência de extinção. Por outro lado, as áreas da região Norte com potenciais eólicos estão localizadas próximas a centros urbanos, fator que reduziria o custo e perdas ocasionados por grandes linhas de transmissão. Entre as três gerações apresentadas neste trabalho, a hidráulica é a mais polêmica quando o assunto é tratado em relação a região Norte. Por um lado esta região apresenta o maior potencial hidráulico do Brasil, por outro lado, apresenta áreas protegidas por leis ambientais, fazendo com que os impactos das grandes usinas hidráulicas se tornem entraves na implantação das mesmas. Logo, a GD em pequenos centros de geração se apresenta como uma boa solução para resolver tais divergências, uma vez que seus impactos são consideravelmente menores, possibilitando o aproveitamento dos recursos.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINYELE, D. O. Distributed Photovoltaic Power Generation for Energy-Poor Households: The Nigerian Perspective. **IEEE**, Wellington, 2013.
- BLUE SOL ENERGIA SOLAR (BSES). **História da Energia Solar Fotovoltaica**, 2011. Disponível em: <://www.blue-sol.com/energia-solar/historia-rpida-da-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em 26 de Setembro de 2015.
- BRASIL, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2006. 60 p.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001. 45 p.
- BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2005. 160 p.
- BRASIL. ANEEL. História da Energia Eólica e Suas Utilizações. **Revista Ecoenergia**, n. 13, p. 14-19, 2012.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME), Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Brasília, 2015a. 466 p.
- BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br), Acesso em: ago. 2015b.
- BRASIL, Eletrobras. **Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro (SIPOT)**. Disponível em: <[www.eletrobras.com](http://www.eletrobras.com)>, Acesso em: set. 2015c.
- BRASIL, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <http://www.ons.org.br/home/>. Acesso em: ago, 2015d.
- BRASIL, Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: [www.ana.gov.br/](http://www.ana.gov.br/). Acesso em: ago, 2015e.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME). Secretária de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. São Paulo, 2007. 683 p.
- BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Características da População e dos Domicílios**. Rio de Janeiro, 2011. 270 p.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro, 2014. 288 p.
- BRASIL, Ministério de Minas e Energia (MME), Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Eficiência Energética e Geração Distribuída**. Rio de Janeiro, 2014a. 78 p.
- DIAS, M. V. X. **Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras**. 2005. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.



- EIA. Energy information and administration. **International energy statistics**. Disponível em: <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=12>>. Acesso em 15 de Outubro de 2015.
- KARKI, R. et al. A Simplified Wind Power Generation Model for Reliability Evaluation. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, Saskatoon, v. 21, n. 2, p. 533 – 540, 2006.
- LAI, L. L.; CHAN, T. F. **Distributed Generation: Induction and Permanent Magnet Generators**. 1 ed. Wiltshire: Great Britain, 2007. 237 p.
- MASTERS, G. M. **Renewable and Efficient Electric Power Systems**. 1 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 647 p.
- MINTS, P. Residential Application Growth 1996 – 2013, Evolving Business Models and Future Prospects. **IEEE**, San Jose, 2014.
- MORTATI, D. M. de A. N.; ARGOLLO FERRÃO, A. M. de O. O surgimento das Pequenas Centrais Hidrelétricas e o Processo de Urbanização no Interior de São Paulo (1890 – 1930). **Revista Labor & Engenho**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 26 – 44, 2011.
- Stuhlmann, R.; Rieland, M.; Raschke, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. **J. Applied Meteorology**, v. 29, n. 7, p. 586-603, 1990.
- PRADO JR, F. A. de A.; AMARAL, C. A. **Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado de São Paulo**. 1 ed. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2000. 281 p.
- SEED. Schlumberger Excellence in Education Development. Fontes Alternativas de Energia: Energia Hidrelétrica. Disponível em: <<http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/fontes-alternativas-de-energia-energia-hidreletrica>>. Acesso em 25 de Setembro de 2015.
- SOUZA, Z. et al. **Centrais Hidrelétricas: Implantação e Comissionamento**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009. 520 p.
- TAYLOR, D.; BOYLE, G. Renewable energy: power for a sustainable future. **Oxford University Press**, Oxford,. cap. 7, p. 267-314, 1996.