

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CLÓVIS TERCA FIDELIS DA MOTTA

O acesso à energia elétrica e a sua relação com o IDHM em um estado brasileiro

São Carlos
2021

CLÓVIS TERCA FIDELIS DA MOTTA

O acesso à energia elétrica e a sua relação com o IDHM em um estado brasileiro

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. Assoc. Frederico Fábio
Mauad

São Carlos

2021

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).]

T643o Terca Fidelis da Motta, Clóvis
O acesso à energia elétrica e a sua relação com
o IDHM em um estado brasileiro / Clóvis Terca Fidelis
da Motta; orientador Professor associado Frederico
Fábio Mauad; coorientador Prof. Associado José Carlos
de Melo Vieira Junior. São Carlos, 2021.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
enfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2021.

1. Eletricidade. 2. acesso à energia elétrica. 3.
IDHM. 4. Rondônia. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Clóvis Terça Fidelis da Motta

Título: "O acesso à energia elétrica e a sua relação com o IDHM em um estado brasileiro"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 08/07/2021,

com NOTA 8,0 (oito), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Frederico Fabio Mauad - Orientador -
SHS/EESC/USP

Prof. Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior - SEL/EESC/USP

Mestre Talyson de Melo Bolleli - Doutorando/Eng. Ambiental -
EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

*Dedico aos meus pais, que sempre
me apoiaram e me deram forças
para a obtenção do sucesso.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Frederico Fábio Mauad pela orientação no tema desse último trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica e Computação de São Carlos por terem me instruído de forma eficaz para eu me tornar um engenheiro de sucesso.

Aos meus pais que sempre me deram todo o suporte e apoio para a conclusão dos meus estudos.

E aos amigos do curso pela amizade e auxílio nas diversas disciplinas do curso.

“A menos que, modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

(Albert Einstein)

RESUMO

DA MOTTA, C.T.F. O acesso à energia elétrica e a sua relação com o IDHM em um estado brasileiro. Trabalho de conclusão de curso- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2021.

Um dos principais recursos para o desenvolvimento de um país é a energia elétrica, no caso do Brasil, destaca-se que a matriz elétrica é considerada essencialmente renovável, pois possui uma alta participação de fonte hídrica. Entretanto, a energia elétrica não está disponível para toda população brasileira, por isso ainda existem locais em que não há acesso a esse recurso, que são as áreas em que há exclusão elétrica. No contexto da qualidade de vida da população, pode-se falar dos índices usados para medi-la, como o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). O IDHM é usado em escala municipal para auxiliar o governo nas decisões sobre aplicações de políticas públicas. Isto posto, o objetivo desta pesquisa foi demonstrar que a falta de acesso à energia elétrica nos municípios de Rondônia é relacionada a baixos índices de IDHM desses locais. A metodologia utilizada para realizar este objetivo foi uma combinação de revisão bibliográfica, para aprofundamento teórico e um estudo de caso baseado em pesquisa documental para obtenção e análise dos dados relativos aos dois parâmetros base. Os resultados dessa pesquisa mostraram que há uma mediana correlação entre a porcentagem de pessoas em domicílios com energia elétrica e o IDHM de tais municípios. Com base em tal relação positiva entre as variáveis, foram analisados dados correlatos que mostraram que várias áreas de exclusão elétrica de Rondônia estão localizadas em municípios com IDHM de nível baixo.

Palavras-chave: eletricidade, acesso à energia elétrica; IDHM; Rondônia

ABSTRACT

DA MOTTA, C.T.F. Access to electricity and its relationship with the IDHM in a Brazilian state. Course completion work- School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos. 2021.

One of the main resources for the development of a country is electric energy, in the case of Brazil, it is highlighted that the electric matrix is considered essentially renewable, as it has a high share of water source. However, electricity is not available to the entire Brazilian population, so there are still places where there is no access to this resource, which are areas where there is electricity exclusion. In the context of the population's quality of life, one can speak of the indices used to measure it, such as the Municipal Human Development Index (IDHM). IDHM is used at the municipal scale to assist the government in decisions about public policy applications. That said, the objective of this research was to demonstrate that the lack of access to electricity in the municipalities of Rondônia is related to low IDHM indices in these locations. The methodology used to accomplish this objective was a combination of literature review, for theoretical deepening and a case study based on documental research to obtain and analyze data related to the two base parameters. The results of this research showed that there is a median correlation between the percentage of people in households with electricity and the IDHM of such municipalities. Based on this positive relationship between the variables, correlated data were analyzed that showed that several areas of electrical exclusion in Rondônia are located in municipalities with low-level IDHM.

Keywords: electricity, access to electricity; IDHM; Rondônia

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geração elétrica por fonte (GWh)	17
Figura 2— Situação do SIN (2019).....	27
Figura 3— Histórico das tarifas médias para Baixa Tensão (R\$/MWh).....	30
Figura 4— Participação das fontes no consumo final.	32
Figura 5 – Mapa dos municípios de Rondônia.....	44
Figura 6 – Gráfico da estimativa de crescimento da população de Rondônia.....	45
Figura 7 – Capacidade instalada e geração elétrica em Rondônia.....	47
Figura 8 – Gráficos do histórico dos consumos per capita do estado.....	49
Figura 9 – Comparação entre Regiões atendidas e não atendidas por eletricidade	50
Figura 10 – Municípios de Rondônia e seus níveis de IDHM.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Extensão das linhas de transmissão do SIN (km).....	26
Tabela 2 — dados sobre classes de consumo	28
Tabela 3 — Demandas máximas por Subsistema brasileiro (MW)	31
Tabela 4 – Resultados do PROINFA.....	34
Tabela 5 – Resultados do PROCEL	35
Tabela 6 - Programa Luz Para Todos - População atendida (mil).....	38
Tabela 7 – 10 maiores IDH em 2021 e IDH brasileiro.....	40
Tabela 8 – 10 maiores IDHM em 2020	42
Tabela 9 – Usinas de geração de Energia Elétrica em operação	45
Tabela 10 – Usinas previstas para RO	46
Tabela 11 - Energia elétrica para os 9 municípios com menores IDHM de 2010.....	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	O sistema elétrico brasileiro.....	15
2.1.1	Parque gerador brasileiro	16
2.1.1.1	Geração Hidráulica.....	17
2.1.1.2	Geração Termelétrica	21
2.1.1.3	Geração eólica	22
2.1.1.4	Geração fotovoltaica	24
2.1.2	Transmissão	25
2.1.3	Distribuição.....	28
2.2	Demanda energética brasileira	30
2.3	Programas de incentivo à geração/transmissão e fornecimento de energia elétrica no Brasil	33
2.3.1	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)	33
2.3.2	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).....	34
2.3.3	Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios Programa Luz no Campo.....	36
2.3.4	Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos	36
2.4	Caracterização dos índices de desenvolvimento humano	38
2.4.1	IDH	38
2.4.2	IDHM.....	41
3	METODOLOGIA	43
4	RESULTADOS	44
4.1	Capacidade instalada e geração de energia elétrica em Rondônia.....	45
4.2	Consumo de eletricidade em Rondônia	48

4.3	IDHM de Rondônia.....	50
5	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXO A – QUADRO DE USINAS EM RONDÔNIA	13
	ANEXO B – IDHM E ENERGIA ELÉTRICA – RONDÔNIA	13

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso essencial para o desenvolvimento da sociedade em geral. No entanto, nem toda população brasileira possui acesso à energia elétrica, existindo locais em que nem mesmo pequenos geradores são utilizados para consumo próprio. Por isso, o Brasil necessita empreender políticas públicas que objetivem suprir a demanda de energia elétrica decorrente do crescimento demográfico, econômico, social e tecnológico do País, levando em consideração que a composição da matriz energética deve ser o mais eficiente e sustentável possível.

No entanto, não só a matriz elétrica de um país indica se o mesmo possui alta qualidade de vida para sua população, sendo necessário também um investimento maciço em saúde, infraestrutura, educação, saneamento básico. Nesse contexto, esse trabalho foi delimitado ao contexto municipal de um Estado brasileiro, analisando parâmetros relacionados com a energia elétrica e a qualidade de vida.

No contexto da qualidade de vida de uma determinada nação, a mesma está diretamente ligada ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) local. Esse indicador foi criado pela Organização das Nações Unidas para auxiliar na determinação do estágio de desenvolvimento e qualidade de vida de um país.

No Brasil o IDH é usado como indicador entre seus estados e municípios para auxiliar na definição de políticas públicas. No caso dos municípios, foi também criado o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), para caracterizar de forma mais específica esses tipos de localidades.

Assim, este trabalho este trabalho foi realizado para mostrar que a energia elétrica está diretamente ligada ao IDHM de um determinado município. Devido à grande quantidade de municípios no país, foi escolhido como foco um único estado para ter seus municípios usados como base para este estudo. O Estado escolhido foi Rondônia, uma vez que é um dos Estados brasileiros que tende a ser considerado de baixa qualidade de vida.

Deste modo, faz-se necessário um estudo criterioso sobre o tema, investigando a seguinte questão: O nível do IDHM de um município possui alguma relação com o acesso a energia elétrica dessa localidade? Para responder a tal questionamento o objetivo geral desta pesquisa foi evidenciar que a falta de acesso à eletricidade é relacionada a baixos índices de IDHM nos municípios de Rondônia. Os objetivos específicos foram:

- Mostrar o panorama energético do Brasil;

- Identificar a demanda energética brasileira;
- Identificar os programas governamentais que incentivam o acesso à energia elétrica;
- Definir conceitos de IDH, IDHM e seus correlatos;
- Tratar da demanda e oferta de eletricidade do Estado de Rondônia;
- Evidenciar como a falta de acesso à energia elétrica está diretamente ligado ao IDHM dos municípios Rondônia.

Isto posto, no capítulo 2 deste trabalho é mostrado todo o desenvolvimento teórico necessário a essa pesquisa. Já o capítulo 3 descreve a metodologia utilizada nesta pesquisa. No capítulo 4 os resultados são demonstrados, e por fim, o quinto capítulo mostra as conclusões obtidas com essa pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo pretende fornecer as bases teóricas para a realização deste trabalho. Para isso, inicialmente será descrito o sistema elétrico brasileiro, suas fontes de geração e certas características da sua transmissão e distribuição. Após isso, serão apresentados os conceitos relacionados aos índices de desenvolvimento humano.

2.1 O sistema elétrico brasileiro

O sistema elétrico brasileiro pode ser dividido em dois subsistemas, não conectados, o Sistema Interligado Nacional (SIN) e os Sistemas Isolados. O SIN é composto por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. O restante da região Norte e pequenas áreas ao redor do país forma os Sistemas isolados, pois estão desconectados do SIN (ONS, 2021).

O sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do Brasil é considerado um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, isso porque a predominância é de usinas hidrelétricas (ONS, 2021). Existe ainda uma grande porcentagem de fontes térmicas exercendo a complementariedade em momentos de pico e também em períodos de reservatórios em baixa. (PIRES, 2000). As usinas térmicas podem ser a gás natural, carvão, derivados do petróleo, entre outras possibilidades de combustíveis. E por fim, as usinas eólicas passaram por um crescimento constante em sua capacidade instalada nos últimos anos (ONS, 2021).

Para que a rede elétrica brasileira seja capaz de atender a demanda de energia do país, novas usinas de geração de eletricidade devem ser construídas a cada ano. Para definir quais projetos devem ser aprovados o governo se utiliza de meios institucionais (FERREIRA; ASSED, 2020). Os agentes participantes desse tipo de negociação podem ser distribuidores, geradores, comercializadores, consumidores livres ou especiais, desde de que sejam membros do Sistema Integrado Nacional (SIN), conforme a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (2021).

Nesse contexto, deve destacar que a energia elétrica é comercializada no país a partir de ambientes regulados pelo governo, em que participa também a iniciativa privada. São eles o

Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) (CCEE, 2021).

No caso do ACR, as negociações de compra e venda de energia elétrica são formalizadas a partir de contratos celebrados entre os geradores e os distribuidores, que participam dos leilões de compra e venda de energia. Já no ACL, os geradores, comercializadores, importadores, exportadores de energia e consumidores livres podem realizar contratos de compra e venda de energia a seus respectivos preços definidos de forma mais direta que no ACR (CCEE, 2021).

Em relação aos leilões de energia elétrica, esta ferramenta é largamente utilizada pelo governo para sua gestão energética. Os leilões são aplicados em praticamente todas as hipóteses de privatização no setor elétrico, desde a outorga de concessões para exploração de empreendimentos de geração e transmissão de eletricidade, passando pela compra e venda de energia elétrica por meio de contratos bilaterais, até contratação de serviços de compra e venda de cotas de consumo de eletricidade (FERREIRA; ASSED, 2020).

2.1.1 Parque gerador brasileiro

Para o parque gerador funcionar adequadamente, uma coordenação da operação é necessária, realizando o despacho de energia das usinas hidrelétricas para otimizar o uso da diversidade pluviométrica nas diferentes bacias pertencentes ao parque gerador brasileiro. (PIRES, 2000).

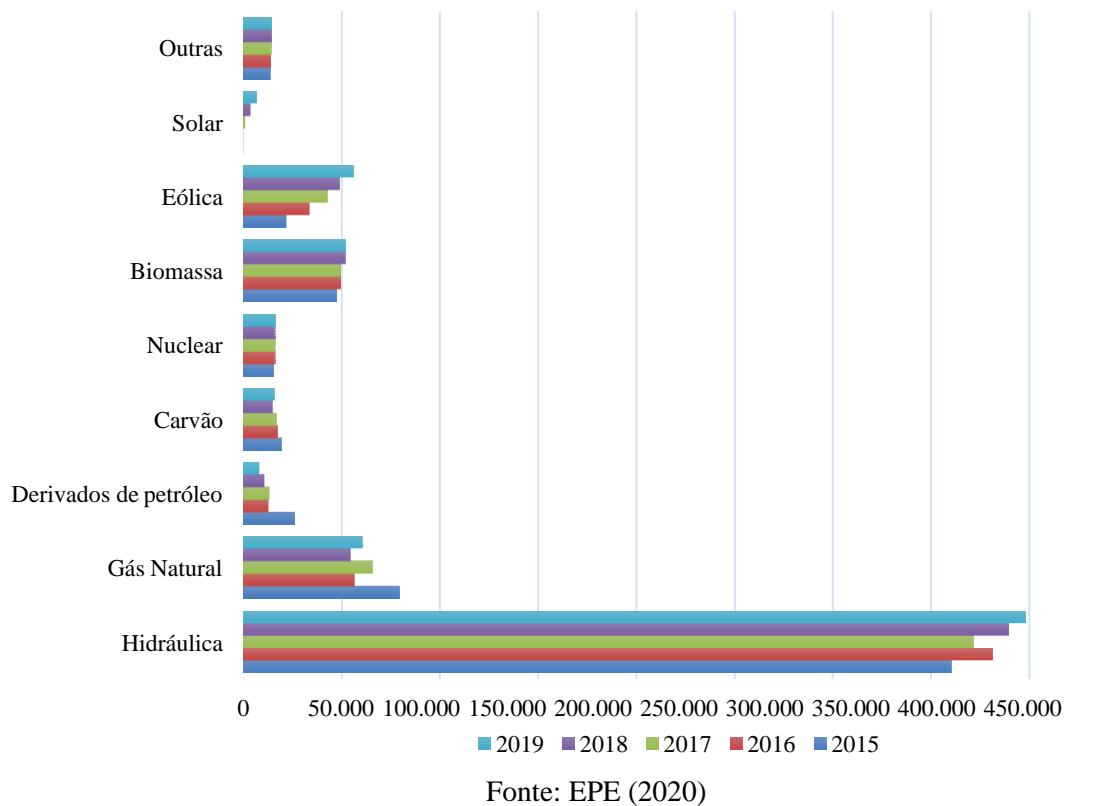
Portanto, o programa de despacho da energia elétrica brasileira considera o custo de oportunidade do uso da água armazenada em função da probabilidade de vertimentos no futuro. Além disso, considera também os custos para uso das termelétricas, por isso a maioria delas são acionadas somente quando a fonte hidráulica não é suficiente. (PIRES, 2000).

Um dos problemas relacionados com o acionamento das usinas térmicas é que, de modo geral, elas são movidas a base de combustíveis fósseis, como diesel, e outros. Por isso, tem-se custos maiores por kWh de energia gerado, devido à variação de preços desse tipo de combustível. Além disso, o uso de combustíveis fósseis libera grandes quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera, contribuindo para a intensificação do efeito estufa. (EPE, 2020).

Ao longo dos anos o país passou também a investir em outros tipos fontes, como a eólica e a solar, além da biomassa em certas localidades. Isso porque são todas fontes renováveis, se mostrando mais vantajosas no âmbito ambiental, se comparadas ao uso de fontes à base de

combustíveis fósseis, como as tradicionais termelétricas. Nesse contexto, a Figura 1 mostra um gráfico com as principais fontes que compõem a matriz elétrica brasileira nos últimos 5 anos.

Figura 1 - Geração elétrica por fonte (GWh)



Como mostra a Figura 1, a predominância é a fonte hidrelétrica, enquanto que a grande maioria das outras possibilidades de usinas são térmicas, se diferenciando pelo tipo de combustível. E por fim, as usinas eólicas tem uma participação que pode ser considerada na mesma ordem da participação das usinas térmicas a gás natural e a energia solar também mostrou crescimento (EPE, 2020).

2.1.1.1 Geração Hidráulica

Esse tipo de fonte depende da energia da movimentação da água. A água corrente cria energia cinética e sua altura cria a energia potencial, ambas podendo ser capturadas por turbinas e convertidas em eletricidade por meio de um gerador eletromagnético (ELLABBAN et al., 2014).

A energia hidrelétrica é gerada a partir da água que se move no ciclo hidrológico, que é impulsionada pela radiação solar. É o fluxo da água nos rios, impulsionado pela força da gravidade para passar de elevações mais altas para mais baixas, que pode ser controlado a partir de barragens (ELLABBAN et al., 2014).

A forma prevalente de aproveitamento de energia hidrelétrica são as barragens, criando uma usina hidrelétrica, embora as novas formas de aproveitamento da energia cinética das ondas e das marés estejam cada vez mais próximas da aplicação em nível comercial (ELLABBAN et al., 2014).

Alguns dos maiores projetos de usina hidrelétricas são Itaipu no Brasil com 14.000 MW e *Three Gorges* na China com 22.400 MW, ambos produzindo entre 80 a 100 TWh/ano. Projetos hidrelétricos são sempre específicos para a sua localização, pois são projetados de acordo com o rio que habitam (ELLABBAN et al., 2014).

No caso brasileiro, o potencial hidrelétrico foi inicialmente mais explorado nas regiões Sudeste e Sul, sendo somente por volta da década de 1980 que a Região Norte começou a receber as primeiras Usina Hidrelétricas (UHE). (CURTY, 2017). Tal fato mostra que desde os primórdios da geração elétrica o Brasil já tinha como base uma fonte renovável.

Uma das principais vantagens das usinas hidrelétricas é sua capacidade de armazenamento de energia em seu reservatório, o que traz uma maior flexibilidade operativa, pois é possível deixar a energia disponível quando for necessário. Tal característica aumenta também a confiabilidade do SIN como um todo (CURTY, 2017).

Essa fonte renovável tende a não produzir quantidades significativas de gases de efeito estufa (FIGUEIREDO, 2012). Além disso, com mais construções de hidrelétricas a necessidade de novas usinas térmicas diminui, e com isso, também são evitadas novas emissões de gases estufa (TOLMASQUIM, 2016).

As usinas hidrelétricas são capazes de prover uma série de serviços auxiliares relativas à operação do sistema elétrico, como controle de tensão e de frequência, que são importantes para garantir um atendimento da demanda de eletricidade com o padrão de qualidade desejado. Os reservatórios das usinas hidrelétricas, por sua vez, podem prover uma série de serviços não energéticos, como controle de cheias, irrigação, processamento industrial, suprimento de água para consumo humano, recreação e serviços de navegação. Vale ressaltar, no entanto, que os múltiplos usos da água podem, por vezes, gerar conflitos e eventualmente impor restrições à operação hidrelétrica (TOLMASQUIM, 2016).

Porém, uma das principais desvantagens relacionadas à implantação de usinas hidrelétricas é fato de causarem impactos ambientais de diversos tipos durante sua instalação

(FIGUEIREDO, 2012). Tais impactos socioambientais negativos geralmente são associados às áreas alagadas por seus reservatórios. Além disso, no caso de projetos hidrelétricos de grande porte, os investimentos necessários para sua construção são elevados, necessitando de financiamento (TOLMASQUIM, 2016).

As usinas hidrelétricas são classificadas em três categorias de acordo com a operação e o tipo de fluxo de água. As UHEs de fio d'água e as de armazenamento (reservatório) variam de pequenas a grandes em termos de escala, dependendo da hidrologia e topografia da bacia hidrográfica (ELLABBAN et al., 2014).

Uma usina a fio d'água extrai a energia para a produção de eletricidade principalmente do fluxo disponível do rio. Ela pode incluir algum armazenamento de curto prazo, permitindo algumas adaptações ao perfil de demanda, mas o perfil de geração irá variar de acordo com as condições de fluxo do rio local; portanto, a geração depende da precipitação e do escoamento e pode ter variações substanciais diárias, mensais ou sazonais (ELLABBAN et al., 2014).

As UHEs com reservatório são chamadas de hidrelétricas de armazenamento, pois armazenam água para consumo posterior. O reservatório reduz a dependência da variabilidade da vazão, e as estações geradoras estão localizadas a jusante conectadas ao reservatório por dutos. O tipo e desenho dos reservatórios são decididos pela paisagem (ELLABBAN et al., 2014).

Outra forma de se aproveitar da hidreletricidade é a partir da construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). A tecnologia de geração hidrelétrica possui um mesmo tipo de gerador, que é maior ou menor, proporcionalmente ao porte da usina, seja ela uma grande hidrelétrica ou uma PCH. Para classificar um empreendimento como PCH os parâmetros utilizados são, basicamente, a potência instalada e o tamanho de seu reservatório, sendo utilizados outros parâmetros construtivos auxiliares para definições mais exatas (ELETROBRÁS, 2000).

As PCH possuem impactos positivos como: suprir energia em comunidades isoladas, colaborar para a mitigação de gases do efeito estufa, possibilitar a entrada de países em desenvolvimento no comércio internacional através da venda de créditos de carbono, entre outros. Assim, os impactos positivos da implantação de projetos de PCH superam bastante os negativos, na grande maioria das vezes (LEÃO, 2008). As PCH são bastante utilizadas por pequenos e médios produtores que necessitam de energia extra, ou ainda estão muito distantes da rede elétrica convencional (CURTY, 2017).

Segundo Leão (2008), o impacto positivo das PCH é ainda mais intenso em municípios com baixos indicadores econômicos e com economia estagnada e, além disso, em um período

de 10 anos, foi constatado que o desenvolvimento social e econômico dos municípios com PCH superou o de outros municípios da mesma microrregião. Além disso, elas têm um papel de destaque no fornecimento energético em áreas isoladas e em pequenos centros agrícolas e industriais (CARDOSO et al., 2015).

Assim, é notável que a energia elétrica proveniente das PCH é por natureza uma energia de baixo impacto ambiental, uma vez que tem por base o uso de uma fonte renovável, sendo possível de ser implantada em vários locais do país que atendem às condições para caracterização de uma usina de geração deste tipo.

Destaca-se que a principal desvantagem de uma PCH, geralmente, está relacionada ao seu alto custo do kW, uma vez que devido a ter um reservatório pequeno, ela está totalmente sujeita à sazonalidade hídrica, o que significa que em épocas de seca, na maioria das vezes, seu potencial fica subutilizado (VERGÍLIO, 2012).

A implantação das PCH pode acarretar também na extinção de espécies da fauna e flora locais, além de outros impactos no ambiente, como quebra de fluxo de energia e nutrientes para diversas espécies, remoção da vegetação, exposição do solo, o que pode favorecer processos erosivos e assoreamento dos rios. Além disso, os municípios e regiões escolhidos para a implementação desses empreendimentos possuem menor resiliência diante de modificações desse porte (CARDOSO et al., 2015). Diante disso, fica claro que uma análise criteriosa deve ser realizada antes da implantação de projetos desse tipo, pois ao mesmo tempo que pode contribuir no desenvolvimento local, também pode trazer consequências contrárias a isso.

Em suma, as usinas hidrelétricas possuem uma tecnologia de geração de energia extremamente flexível com uma das melhores eficiências de conversão de todas as fontes de energia (90%, para certos casos a fio d'água) devido à sua transformação direta de energia hidráulica em eletricidade. Ainda assim, há espaço para melhorias adicionais pela operação de refino, reduzindo impactos ambientais, adaptando-se a novos aspectos sociais e elevando a eficiência como um todo (ELLABBAN et al., 2014).

Mesmo a matriz elétrica brasileira sendo baseada essencialmente na hidroeletricidade, certas regiões com grande potencial hidrelétrico ainda são pouco exploradas. O maior potencial inexplorado está na Região Norte do país. Entretanto, mesmo em caso de utilização dessas fontes, ainda seriam necessárias linhas de transmissão mais longas e potentes para levar esta energia para os grandes centros localizados nas Regiões Sudeste e Sul. (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

2.1.1.2 Geração Termelétrica

As fontes não renováveis, basicamente, são utilizadas para abastecer usinas térmicas, mas também podem ser utilizadas na forma de combustível para geradores e grupos geradores, comuns para pequenas aplicações. As centrais térmicas estão em segundo lugar na participação na geração de energia elétrica do país, estando espalhadas em todo território nacional.

No Brasil, os derivados do petróleo correspondem a pouco mais de 2% do total de participação na geração de energia elétrica. No sul do país, as térmicas utilizam mais o carvão. Já no Rio de Janeiro existem as centrais nucleares Angra 1 e Angra 2, que também são consideradas usinas térmicas, mas com fonte nuclear (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

No caso das centrais nucleares, elas têm como base o reator nuclear, que produz e controla a liberação de energia da divisão dos átomos de urânio. A energia nuclear alimentada a urânio é uma maneira limpa e eficiente de ferver a água para produzir vapor que impulsiona os geradores de turbina. Com exceção do próprio reator, uma usina nuclear funciona como a maioria das usinas de carvão ou a gás (GUIMARÃES; DE LIMA; DA SILVA, 2018).

Em relação à segurança energética do país, as usinas nucleares possuem um grande potencial de suprir a, cada vez maior, demanda de eletricidade da população. Assim, a construção de novas usinas nucleares aumentaria a confiabilidade do sistema elétrico nacional (VEIGA, 2018).

Além disso, as usinas nucleares são conhecidas por não emitir gases estufa para a atmosfera, sendo uma alternativa mais limpa das usinas termelétricas. Além disso, quando comparadas a energias renováveis em ascensão, como a eólica e a solar, a energia nuclear não possui o problema de intermitência comum às outras duas e de modo que é intrinsecamente mais confiável em termos de continuidade do fornecimento de eletricidade (VEIGA, 2018).

As termelétricas estão em destaque no Brasil, pois são as mais usadas para complementar a demanda quando as usinas hidrelétricas não são capazes de suprir toda a necessidade do sistema. Todavia, por se utilizarem principalmente de combustíveis fósseis, este tipo de usina gera energia mais cara para o consumidor (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

As usinas térmicas podem ser instaladas em locais em que a rede elétrica não consegue suprir a demanda total. Além disso, na maioria das regiões isoladas são usados geradores a diesel para suprir as necessidades locais (STUCHI et al., 2015).

No Brasil, as termelétricas também podem ser a base de biomassa. Esse tipo de usina é comum na modalidade de cogeração em usinas de álcool e açúcar, sendo aproveitado o bagaço

da cana para alimentar as caldeiras, gerando vapor necessário às moendas e alimentando geradores elétricos. A biomassa também pode ser aplicada em sistemas de gaseificação, participando do mecanismo de desenvolvimento limpo, com alta sustentabilidade (VIDAL; HORA, 2011).

A cogeração é um tipo de geração combinada de calor e eletricidade, de tal forma a utilizar ambos os tipos de energia. Esse tipo de geração é bastante utilizado na indústria sucroenergética, em que a cogeração é utilizada para gerar vapor e eletricidade consumidos nos processos de produção de açúcar e etanol. O vapor é utilizado nos processos de fabricação de açúcar e etanol. Em usinas modernas, as moendas e picadores são eletrificados, o que reduz a demanda por vapor e permite seu direcionamento para a geração elétrica. As tecnologias dependem do tipo de biomassa utilizada. Biomassas sólidas, como o bagaço, as palhas, a lenha e a lixívia, requerem uma etapa de gaseificação. Biocombustíveis líquidos e gasosos podem ser consumidos diretamente em turbinas adequadas (TOLMASQUIM, 2016).

A biomassa também tem certas desvantagens, principalmente em relação ao seu uso na forma sólida. Nesse caso, a portabilidade é baixa, com difícil manuseio, não sendo indicada para motores móveis. Em vista disso, a maior parte da biomassa utilizada em sistemas móveis é previamente convertida nas formas líquida ou gasosa. Outro inconveniente dessa fonte energética é a grande quantidade de resíduos gerados indiretamente, como os resíduos industriais, e diretos, como as próprias cinzas. Essas apresentam grande volume, de difícil manuseio, devendo ser depositadas ou incineradas (VIDAL; HORA, 2011).

Nota-se que as usinas termelétricas podem ser tanto a base de combustíveis fósseis, como gás natural e petróleo, além de carvão, biomassa e nuclear. Com isso, fica evidente que esse tipo de usina tem uma grande diversidade em seu uso.

2.1.1.3 Geração eólica

A energia cinética advinda da movimentação das massas de ar, convertida em energia mecânica, vem sendo utilizada pela humanidade há mais de 3000 anos. Os moinhos de vento, próprios para a moagem de grãos e bombeamento de água em atividades agrícolas foram as primeiras aplicações da energia eólica (MARTINS, 2008).

A evolução da capacidade instalada de geração eólica de eletricidade foi diretamente proporcional à evolução tecnológica dos aerogeradores entre a década de 1980 e 2000

(MARTINS, 2008). Por isso, incentivos a energia eólica são essenciais para que a mesma se desenvolva no país. Isso ocorre porque esta tecnologia é onerosa e ainda não está consolidada, o que a torna de risco elevado para os investidores.

A turbina eólica é constituída por uma série de componentes, responsáveis pela produção da energia elétrica em três etapas: a captação da energia cinética contida no vento, a conversão da energia cinética em energia mecânica e a transformação da energia mecânica em energia elétrica propriamente dita, ao final do processo (LEITE, 2015).

O gerador pode ser combinado com esquemas de conexão síncronos ou assíncronos, e sua escolha está diretamente ligada à escolha da conexão com o sistema. Esta conexão pode ser feita de forma direta e indireta com a rede elétrica. No primeiro caso não é permitida grande variação na velocidade das turbinas, pois isso pode diminuir a confiabilidade do sistema elétrico, já o segundo caso é mais utilizado, pois são acoplados conversores eletrônicos de frequência, que permitem a absorção dos picos de potência, que não serão transmitidas à rede (LEITE, 2015).

Outra desvantagem dessa fonte de energia é o fato de depender das condições climáticas favoráveis de ventos constantes e de altas velocidades. Assim, em casos de turbulências e grandes tempestades, as turbinas são desligadas para evitar sobrecarregar o sistema (OLIVEIRA, 2014). Desse modo, tal fonte pode diminuir a confiabilidade do SIN, e também a sua estabilidade.

A tendência de estabilização sazonal na oferta de energia utilizando a energia eólica como complemento foi comprovado ao se estudar o nível médio de vazão dos rios a algumas usinas da região Nordeste e na região Sul. O período onde existe a menor vazão dos rios é onde ocorrem as melhores incidências de vento (ALVES, 2010). Nesse contexto, as usinas eólicas auxiliam a ter um menor esvaziamento dos reservatórios hidrelétricos no referido período, e também a uma menor necessidade de acionamento de usinas térmicas, e ainda diminui a necessidade de implantação de novas termelétricas (SILVA et al., 2015).

Outra vantagem da fonte eólica é a possibilidade de ser instalada em áreas rurais e compartilhar o uso do solo, seja com agricultura ou pecuária. Logo, diminui os impactos socioambientais da geração de energia na localidade. Existe ainda a possibilidade da otimização de usinas já existentes, com mudanças na operação das mesmas e ampliação da transmissão (CURTY, 2017). Com isso, fica evidente que a fonte eólica se mostra com grande potencial para ser usada no Brasil, trazendo maior confiabilidade e elevando a sustentabilidade do SIN.

2.1.1.4 Geração fotovoltaica

Destaca-se que no Brasil, entre 2017 e 2018 o crescimento da energia solar foi de cerca de 92%, porém, esta fonte só correspondeu a pouco mais de 1,1 % do total de eletricidade gerado em 2019 (EPE, 2020). Esses dados contam tanto as grandes usinas solares centralizadas, como os empreendimentos de geração distribuída espalhados por todo território brasileiro, sendo que este último se destaca em quantidade (EPE, 2019).

O potencial de geração fotovoltaica brasileiro chega à ordem de 500 TW ao ano, caso sejam consideradas áreas já ocupadas por populações. Sendo ainda maior caso se considerem não só telhados, onde normalmente são instalados os sistemas fotovoltaicos, mas também paredes e janelas de edificações. Porém, a energia solar fotovoltaica ainda é pouco utilizada no Brasil (ALMEIDA et al., 2016).

A geração de energia fotovoltaica depende de unidades de geração chamadas de células solares, o conjunto destas unidades forma um módulo fotovoltaico, o conjunto de módulos por sua vez forma um painel fotovoltaico, e por fim, a união de painéis e outros elementos como inversores, formam um sistema fotovoltaico capaz de gerar energia para alimentar desde uma pequena residência até cidades inteiras (SEGUEL, 2009).

Fica evidente que esta tecnologia de geração pode ser modularizada, de tal modo, que se pode definir sistemas de geração desde MW até de GW, usando sempre os mesmos componentes, diferenciando apenas na quantidade dos mesmos.

As possibilidades de uso de geração fotovoltaica são classificadas em dois tipos, sistemas isolados ou conectados à rede (LEVA et al., 2004). Os sistemas isolados dependem apenas da energia solar para atender a demanda das cargas, por isso, existe a necessidade de armazenar energia. Logo, esses sistemas precisam de controladores de carga e baterias, pois os primeiros controlam o fluxo de energia e protegem as baterias, e estas armazenam a energia para uso posterior (SILVA et al., 2019).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica produzem a sua própria energia e encaminham o excedente para a rede. Assim, quando necessitam de energia e seu sistema não está gerando, recebem eletricidade da rede. Esse tipo de configuração necessita de inversores, mas dispensa controladores de carga e baterias (SILVA et al., 2019).

No entanto, a quantidade de energia produzida depende da densidade das nuvens, ou seja, quanto menos nuvens houver no céu, maior será a produção de eletricidade. Essa forma de obtenção de energia, uma das mais promissoras e vem crescendo cada vez mais em virtude

da redução dos preços e dos incentivos oferecidos para que os países adotem fontes renováveis de energia.

A principal vantagem da energia solar fotovoltaica é o fato de ser uma fonte renovável, isso significa que por usar o sol como base, esse tipo de fonte de eletricidade pode ser considerado praticamente infinita, já que o sol não deve se extinguir pelos próximos bilhões de anos (RÜTHER, 2004). Outra das grandes vantagens dos sistemas fotovoltaicos é seu baixo impacto ambiental, uma vez que não tem como subprodutos do processo de geração em si gases, ruídos, ou outro qualquer tipo de fonte de poluição (URBANETZ, 2010).

Destaca-se ainda que, considerando sistemas conectados à rede, a restituição dos gastos com o sistema leva entre 3 e 4 anos, já para os sistemas isolados esse período é de 4 a 6 anos. Como sua vida útil está entre 20 e 25 anos, no mínimo um sistema produzirá o triplo do que foi utilizado em sua fabricação (COUTINHO, 2019).

Essa fonte de energia se mostra como uma das melhores opções para ser utilizada em locais isolados, em que não há rede de distribuição. Especificamente no Brasil, por ser um país tropical e possuir uma radiação solar média acima de 2500 horas/ano, a geração fotovoltaica autônoma traz benefícios, uma vez que fornece eletricidade sem gerar gases estufa, muito comuns em geradores a base de combustíveis fósseis, bastante usados em locais remotos (NASCIMENTO, 2004).

Considerando que a faixa de variação da irradiação global horizontal anual do Brasil seja de 1.500 a 2.200 kWh/m², praticamente todo território brasileiro é elegível à expansão do aproveitamento deste recurso. Como referência, a Alemanha, um dos países com maior capacidade instalada fotovoltaica, possui irradiação entre 900 e 1.250 kWh/m² (TOLMASQUIM, 2016)

2.1.2 Transmissão

A rede elétrica nacional brasileira possui um sistema de abastecimento integrado, em que são utilizados vários tipos de fontes de energia elétrica. Essa energia é transmitida a partir de uma complexa rede de linhas de transmissão e subestações de transmissão (FERREIRA; ASSED, 2020).

Além disso, como os grandes centros de consumo de energia se localizam a grandes distâncias dos melhores pontos de geração, especificamente dos melhores aproveitamentos

hídricos, isso obrigou as transmissoras a desenvolverem um grande sistema interligado, que propicia a transferência de energia entre os subsistemas, permitindo assim que todo o sistema interligado seja mais seguro, e facilita a obtenção de maiores ganhos por explorar a diversidade entre os regimes hidrológicos (FERREIRA; ASSED, 2020). Nesse contexto, a tabela 1 mostra a extensão das linhas de transmissão do SIN, em km, ao longo dos últimos cinco anos.

Tabela 1 - Extensão das linhas de transmissão do SIN (km)

Tensão da Linha	2016	2017	2018	2019	2020	$\Delta\%$ (2020/2019)	Part. % (2020)
132 kV	13	13	13	13	13	0,0	0,0
138 kV	145	145	145	115	115	0,0	0,1
230 kV	50.829	51.513	52.682	53.905	56.554	4,9	38,3
345 kV	9.520	9.520	9.520	9.521	9.551	0,3	6,5
440 kV	6.903	6.911	6.911	6.911	6.909	0,0	4,7
500 kV	38.634	39.349	42.008	44.629	47.540	6,5	32,2
525 kV	6.420	6.540	6.540	6.540	6.540	0,0	4,4
600 kV	9.544	9.544	9.544	9.544	9.544	0,0	6,5
765 kV	1.722	1.722	1.722	1.722	1.722	0,0	1,2
800 kV	0	4.168	4.168	9.204	9.204	0,0	6,2
Total	123.730	129.426	133.254	142.105	147.692	3,9	100,0

Fonte: EPE (2021)

Conforme a tabela 1, a extensão total do SIN se aproxima dos 150. 000 km e entre 2019 e 2020 a extensão das linhas de transmissão aumentou em quase 4%, mostrando que o SIN não só cresceu nos últimos cinco anos, como a tendência é de crescimento contínuo nos próximos anos.

O que motiva esse perpétuo aumento na malha de linhas de transmissão é a combinação de dois fatores. O primeiro é o aumento de carga, ou seja, o aumento real de energia consumida, e o segundo é o aumento da capacidade instalada no SIN. Um fato está intimamente atrelado ao outro, visto que conforme o consumo aumenta com o passar dos anos, a taxa de aumento da capacidade de geração deverá sempre variar em um nível minimamente superior, para que não ocorra uma crise de abastecimento de energia (FERREIRA; ASSED, 2020).

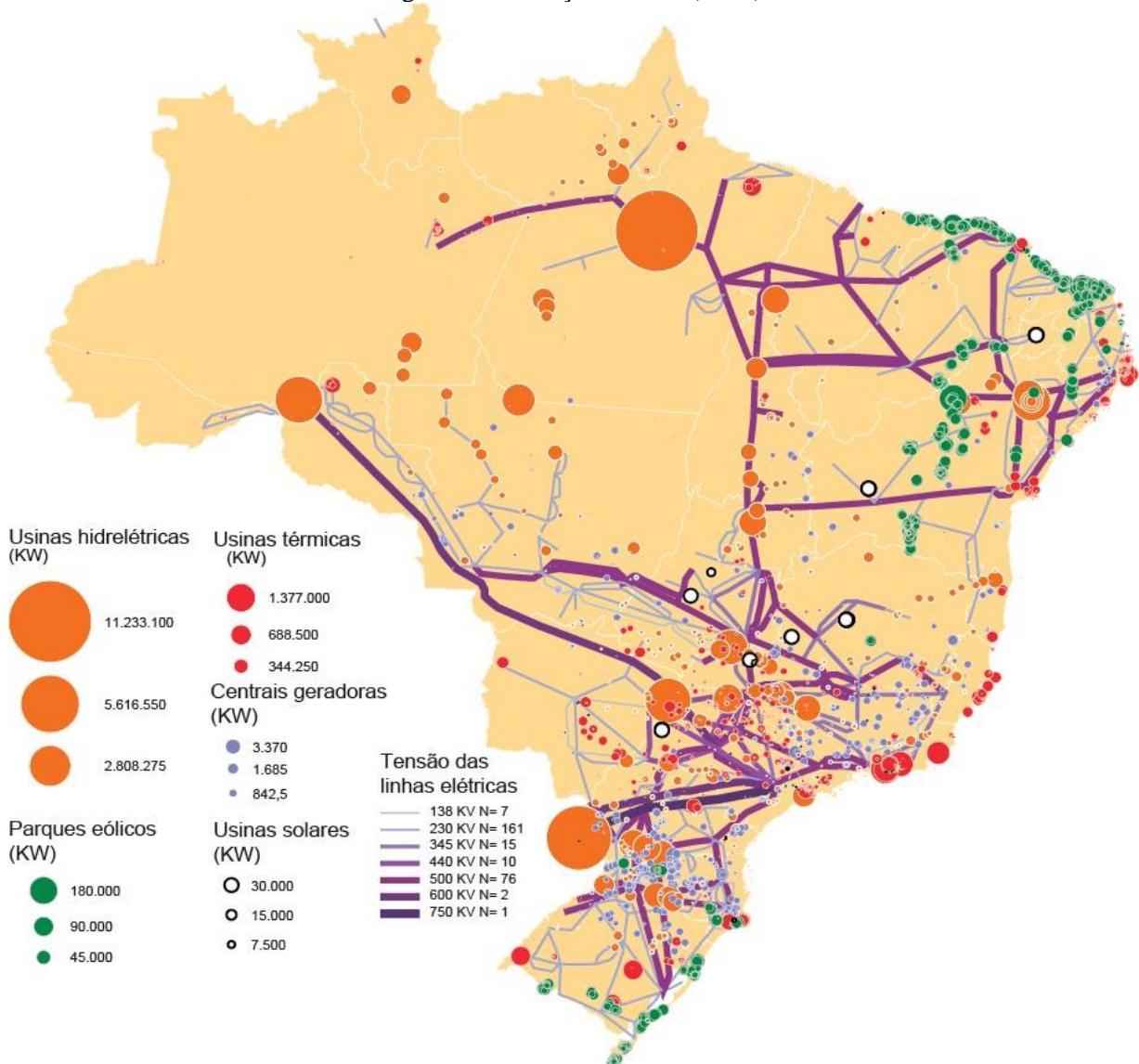
Destaca-se que o feixe de linhas de tensão ligando Itaipu a São Paulo é o eixo mais significativo do SIN, pois praticamente sustenta a região de maior demanda do país. Já em relação ao Nordeste, foram construídas linhas na região da usina amazônica de Tucuruí, com objetivo principal de melhorar a distribuição da rede nordestina. Há ainda outra linha na direção

da Transamazônica, permitindo estender para o oeste a rede interconectada, para o norte do Mato Grosso. (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

Nesse contexto, destaca-se que várias barragens e linhas de transmissão foram construídas e ainda estão em processo de construção no eixo Araguaia-Tocantins, para satisfazer as necessidades, principalmente, da região sudeste e também da região nordeste. (THÉRY; MELLO-THÉRY, 2016).

A figura 2 ilustra a situação das linhas de transmissão instaladas no Brasil. Além disso, mostra o quanto de potência é gerada por áreas do mapa e por cada uma das fontes de energia, como as hidrelétricas, as usinas térmicas, as usinas solares e as eólicas.

Figura 2— Situação do SIN (2019)



Fonte: ONS (2019).

Como mostra a figura 2 as usinas hidrelétricas estão espalhadas por todo o país, já as usinas eólicas estão mais concentradas na Região Nordeste, com algumas unidades no extremo sul do país. As usinas térmicas se localizam mais em regiões com maiores concentrações populacionais. E por fim, as usinas solares ainda são poucas em termos de grandes quantidades de kW gerados, além de estarem mais para interior do país.

2.1.3 Distribuição

O setor de distribuição é formado, basicamente, pelas concessionárias de distribuição e pelos consumidores. Em vista disso, é pertinente definir que os consumidores podem ser classificados entre cativos e livres. Os consumidores cativos são aqueles que são legalmente obrigados a receber energia elétrica somente a partir da concessionária de distribuição da área em que se localiza (ANEEL, 2010). Nesse contexto, a tabela 2 mostra alguns importantes parâmetros para as classes de fornecimento, como as tarifas médias, o consumo por classe e o número de consumidores por classe.

Tabela 2 — dados sobre classes de consumo

Classes	Tarifas médias (R\$/MWh)	Consumo por Classe (GWh)	Consumidores por classe (mil) (dez. 2020)
Residencial	533,96	148.173	74.808.192
Industrial	476,95	166.335	469.476
Comercial	540,15	82.522	5.852.806
Rural	394,76	30.908	4.714.790
Poder público	553,49	12.764	598.965
Iluminação pública	316,12	15.463	97.638
Serviço público	412,33	16.345	113.590
Consumo próprio	554,90	3.138	9.579

Fonte: adaptado de EPE (2021)

Como mostra a tabela 2, a classe residencial é a que possui maior número de consumidores, seguido pela comercial e rural. Pode-se inferir que esse resultado é devido às suas características como classe, ou seja, a classe residencial e a comercial provavelmente são maiores por estarem mais presentes em ambientes urbanos em que há maior aglomeração. Já a classe rural mostra que este tipo de área também possui uma quantidade significativa de consumidores.

Destaca-se que em relação consumidores rurais de acordo com o subsistema, por Região, havia por volta de 200.000 consumidores nos Sistemas Isolados em 2018, enquanto em 2020 esse número caiu para pouco mais de 96.000. Tem-se ainda, que este valor vem caindo continuamente nos últimos anos (EPE, 2021).

Já a classe industrial é a que possui maior consumo, seguido da residencial. No caso residencial, provavelmente se deve à maior quantidade de consumidores, já que tais tipos de consumidores geralmente possuem menor demanda individual, quando comparados às indústrias. Já as indústrias, devido a, basicamente, promoverem a transformação de matérias-primas em produtos finais, tendem a precisar de mais energia.

No caso das tarifas, nota-se que o consumo próprio é que paga mais, ou seja, as empresas que participam do fornecimento de energia que pagam mais caro para consumi-la. Já consumidores como o residencial e comercial pagam em média os mesmos valores, enquanto o industrial possui tarifas um pouco menores. Assim, fica claro que a situação dos consumidores depende de suas características básicas.

Já os consumidores livres são Agentes da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que fazem parte da categoria de comercialização. Eles recebem energia no ambiente de contratação livre, em que as unidades consumidoras que satisfaçam, individualmente, os requisitos dispostos nos arts. 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 1995 (ANEEL, 2010).

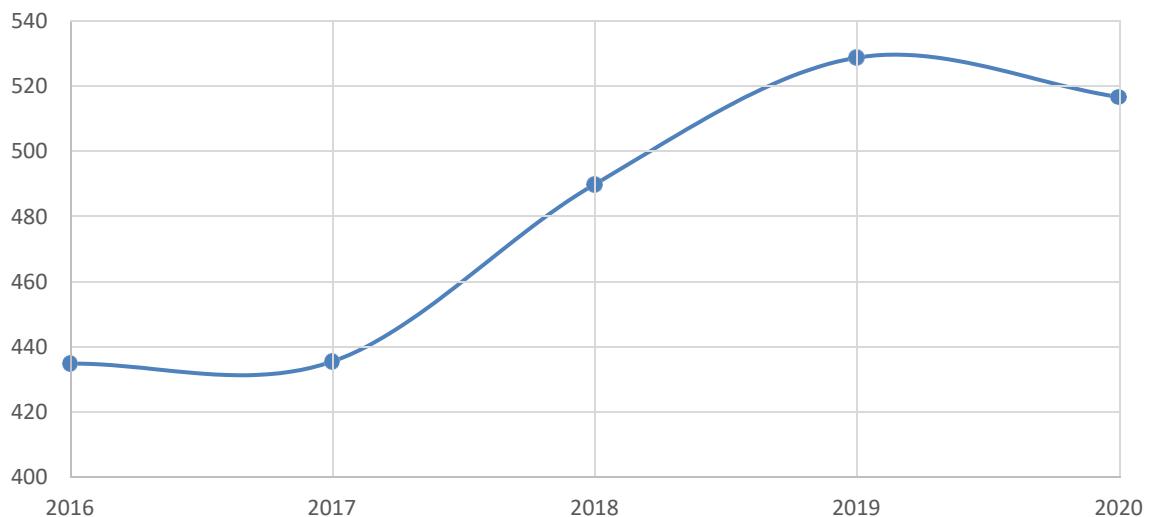
Conforme dados da EPE (2021), o consumo livre da classe industrial chegou próximo aos 143.000 GWh no ano de 2020, seguido pelo comercial com pouco menos de 20.000 GWh. Já em relação ao consumo cativo, a classe residencial que chega próximo aos 149.000 GWh, enquanto a comercial fica em torno de 63.000 GWh.

Pode-se então analisar tais dados e correlacioná-los com as características das classes, e daí pode-se inferir que como a classe industrial realiza a transformação de materiais diversos, e por isso consome mais energia, a mesma também pode ter necessidade de receber energia de outras fontes, não só da distribuidora local, e com isso pode até diminuir seus custos. Já a classe

residencial, por não necessitar de tanta energia, geralmente é suprida somente pela distribuidora e por isso depende das tarifas, sem poder de negociação.

Nesse contexto, pode-se falar também das tarifas médias pagas pela classe residencial. Destaca-se que existem unidades residenciais que utilizam outras tensões, porém, a baixa tensão é predominantemente utilizada pelo setor residencial (EPE, 2021). A figura 3 ilustra a evolução das tarifas médias para Baixa Tensão no Brasil.

Figura 3— Histórico das tarifas médias para Baixa Tensão (R\$/MWh)



Fonte: EPE (2021).

Como mostra a figura 3, as tarifas médias subiram de forma acentuada a partir de 2017, tendo apenas uma pequena queda entre 2019 e 2020. Logo, a maioria dos consumidores residenciais passaram a pagar mais caro por sua energia elétrica nos últimos 4 anos, e a tendência não é de queda acentuada.

Sendo assim, fica evidente que o setor de distribuição brasileiro evoluiu nos últimos anos, mas para isso, suas tarifas cresceram e somente os consumidores livres puderam obter vantagens econômicas, enquanto os consumidores cativos precisaram pagar cada vez mais caro por sua energia elétrica.

2.2 Demanda energética brasileira

Os sistemas de geração, transmissão e distribuição precisam ter a capacidade para, a qualquer tempo, atender à demanda máxima agregada provável, ou seja, o SIN deve ser

suficientemente robusto para atender a demanda de todos os usuários simultaneamente em tempo real (LEITE et al., 2017). A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) afirma que a demanda brasileira é crescente e ainda muito dependente de usinas termelétricas, que têm gases de efeito estufa como subprodutos. (EPE, 2020). Nesse contexto, a tabela 3 mostra as demandas máximas por subsistema brasileiro.

Tabela 3 — Demandas máximas por Subsistema brasileiro (MW)

	2016	2017	2018	2019	2020
SIN	84.651	87.934	87.782	93.516	90.070
Norte	6.558	6.748	6.641	6.645	7.001
Nordeste	12.504	12.905	12.941	13.576	13.243
Sudeste/Centro-Oeste	49.165	50.658	50.853	54.043	51.558
Sul	16.425	17.623	17.346	19.251	18.268

Fonte: EPE (2021).

Como mostra a tabela 3, o subsistema do SIN, que abarca as Regiões Sudeste e Centro-Oeste possui a maior demanda de energia na série história entre 2016 e 2020. Assim, pode-se levantar a hipótese de que por esse subsistema ter as maiores metrópoles do país, com o maior número de consumidores, ele possui a maior demanda do SIN.

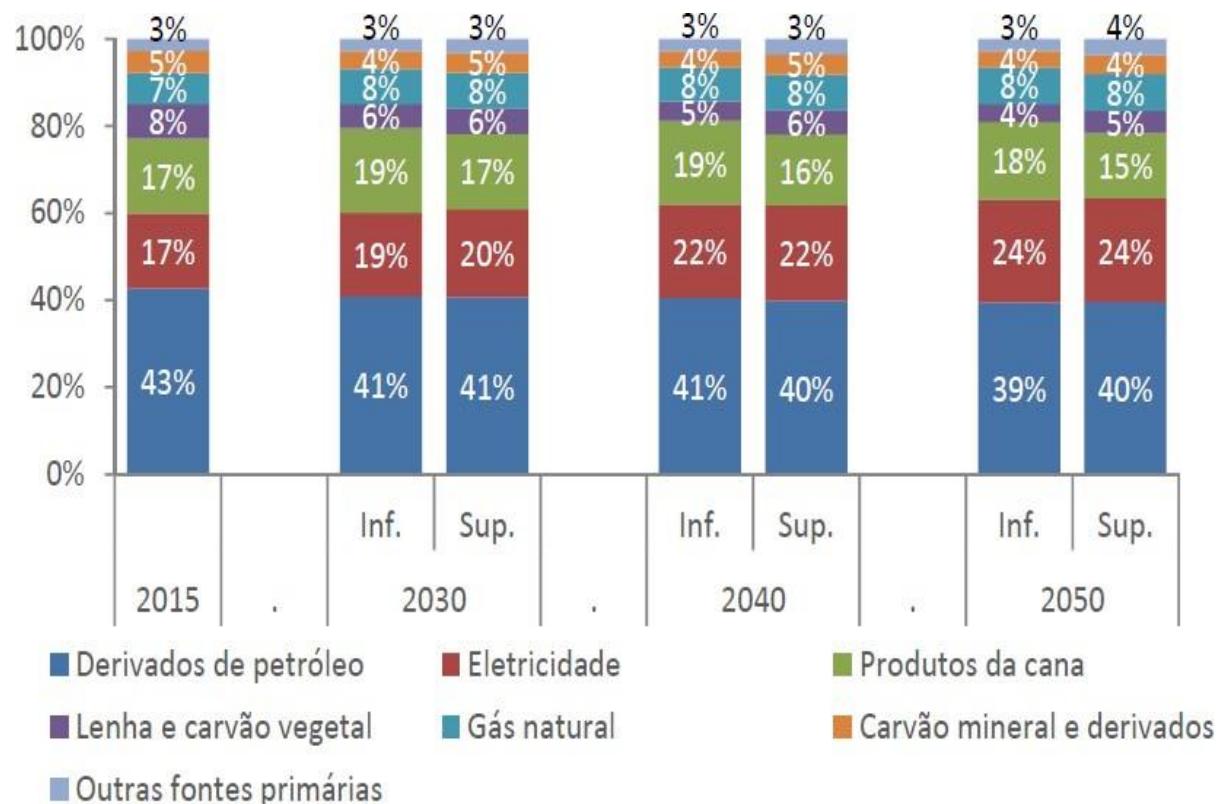
Pode-se ainda, verificar essa hipótese ao analisar o consumo por classes e por Região. Nesse caso, destaca-se a Região Sudeste com quase de 70.000 GWh consumidos pela classe residencial e aproximadamente 87.000 GWh pela classe industrial. Já em relação aos menores consumos do país, está a Região Norte, com cerca de 10.000 GWh para a classe residencial e 14.000 GWh para a industrial. Na série histórica dos últimos 5 anos, o consumo da região Norte veio crescendo continuamente, principalmente o industrial, tendo uma queda em 2018 e voltando a crescer em 2020. Já a Região Sudeste teve uma queda em 2020. (EPE, 2021).

Nesse contexto, pode-se citar que as fontes renováveis estão em alta no Brasil como alternativas para a diminuição das emissões de GEE nos sistemas de geração e também para suprir a crescente demanda dos Estados. No caso do SIN, foram realizados vários leilões específicos para contratação de concessionárias para construção de novas usinas (SILVA et al., 2016). Dados de EPE (2021) mostram que as usinas termelétricas tem uma participação de quase 40% dentre os empreendimentos em construção no país, com 33% desse total estão as centrais eólicas. Tais dados mostram que mesmo que as usinas termelétricas continuem a ser construídas, fontes renováveis, como a eólica estão crescendo em participação.

Conforme estimativas da EPE (2018), para elaboração do cenário econômico de demanda de energia elétrica futura pode-se partir de uma única conjuntura mundial e demográfica, a partir da qual são traçadas duas trajetórias de crescimento: uma com maior expansão do PIB e outra de crescimento mais modesto.

Estima-se que a população brasileira atinja aproximadamente 226 milhões de habitantes em 2050, o que significa crescimento de 10% de 2015 a 2050. A contribuição demográfica para o PIB brasileiro deve diminuir ao longo desse horizonte temporal. Assim, em relação à participação das fontes renováveis e não renováveis tem-se que, em ambas as trajetórias, os derivados de petróleo continuam possuir significante importância para consumo final, seguidos da eletricidade e dos produtos da cana (bagaço de cana e etanol). Entretanto, em ambos os cenários há um aumento da participação da eletricidade, puxada por todos os setores, mas principalmente pelo residencial, com diminuição da participação dos derivados de petróleo. (EPE, 2018). A figura 4 mostra a participação das fontes no consumo final.

Figura 4— Participação das fontes no consumo final.



Fonte: EPE (2018).

Como mostra a figura 4, o consumo de eletricidade se mantém com a maior participação dentre as fontes de energia em ambos os cenários para o PIB em 2050. Isso mostra o quanto é importante manter a geração em alta para suprir essa demanda com confiabilidade na rede.

Assim, ao analisar a demanda do presente brasileiro e a estimada para o futuro do país, ficou evidente que o Brasil exige uma grande quantidade de energia e está em tendência de continuar com uma demanda crescente nos próximos anos. Por isso, o país necessita de constantes investimentos em geração, transmissão e distribuição de energia para atender a toda sua população.

Nesse contexto, pode-se falar dos programas para incentivar o setor de energia elétrico brasileiro, em que o governo passa a dar incentivos para que a demanda do país seja não somente, mas que isso seja realizado de forma eficiente e sustentável.

2.3 Programas de incentivo à geração/transmissão e fornecimento de energia elétrica no Brasil

Historicamente, o setor de energia elétrica brasileiro sempre necessitou de programas brasileiros de incentivo para ser capaz de se desenvolver de formas mais eficientes. Certos programas possuíam como foco o setor de geração, enquanto outros tiveram como objetivo um aumento na eficiência energética. A seguir, serão definidos algumas das principais iniciativas desse tipo.

2.3.1 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)

O PROINFA foi instituído pela Lei nº 10.438/2002 visando estimular a geração de eletricidade por fontes eólica, de biomassa e PCH. Em sua primeira fase, o PROINFA estabeleceu a meta de gerar 3.300 MW por meio dessas fontes. Nessa fase inicial o programa dividiu as metas em 1,1 GW por cada uma das três fontes (FERREIRA; BLASQUES; PINHO, 2014). A segunda fase desse programa teve como meta 10% dessas três fontes na matriz elétrica brasileira em vinte anos, mas foi abandonada visto a impossibilidade prática (CURTY, 2017).

Em relação à fonte eólica, o PROINFA proporcionou não só a abertura de mercado, mas também impulsionou essa fonte de tal modo que, em poucos anos, já não existia mais a necessidade de incentivos desse tipo. Assim, o cenário da energia eólica passou a ser competitivo no contexto nacional, com essa fonte participando frequentemente dos leilões de

energia em situação de igualdade com centrais hidrelétricas e térmicas (FERREIRA; BLASQUES; PINHO, 2014).

Um dos objetivos indiretos do PROINFA foi incentivar pequenos produtores de energia por meio de financiamentos oferecidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) de até 70 % do investimento. Outro dos objetivos foram a geração de 150.000 empregos diretos e indiretos, o aproveitamento das potencialidades das fontes renováveis de cada região, entre outros (FERREIRA; BLASQUES; PINHO, 2014). A tabela 4 mostra os números finais do PROINFA.

Tabela 4 – Resultados do PROINFA

Fontes	Empreendimentos	Potência contratada (MW)	Energia (MWh/ano)	Custo (Milhões R\$/ANO)
PCH	63	1.191,24	6.511.196,0	802,00
EÓLICA	54	1.422,92	3.719.799,0	786,00
BIOMASSA	27	685,24	2.304.992,0	230,00
TOTAL	144	3.299,40	12.555.987,0	1.818,00

Fonte: Ferreira; Blasques; Pinho (2014).

Conforme mostram os resultados do PROINFA, as estimativas iniciais foram quase alcançadas, em que 3.299,40 MW foram contratados, com 1.422,92 MW provenientes da fonte eólica, 1.191,24 MW de PCH e 685,24 MW de empreendimentos de biomassa. Com isso, ficou evidente que a fonte de biomassa foi a que teve menor participação, enquanto a eólica teve a maior (FERREIRA; BLASQUES; PINHO, 2014).

Destaca-se que um dos entraves do programa foi a exigência de que, no mínimo, 60 % dos equipamentos e serviços envolvidos nos empreendimentos deveriam ser nacionais. Essa determinação tinha como objetivo fomentar a indústria de base dessas fontes alternativas. No entanto, principalmente no caso da fonte eólica, só havia um fabricante sediado no país o que atrasou muitos dos cronogramas de implantação das usinas desse tipo contratadas por meio desse programa (FERREIRA; BLASQUES; PINHO, 2014).

2.3.2 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

O PROCEL foi instituído em 1985, ele era coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MME), mas passou a ser coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia,

Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O objetivo desse programa é promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (ELETROBRÁS, 2019).

Os resultados do PROCEL ao longo dos anos mostram que esse programa contribuiu significativamente para a eficiência de bens e serviços, além de colaborar na postergação de investimentos no setor elétrico e reduzindo impactos ambientais que seriam originados com novos empreendimentos de geração (LERCO, 2015).

O PROCEL obteve grandes avanços ao criar um sistema de classificação em faixas de consumo de energia em aparelhos eletrodomésticos, em que tal sistema informa o quanto um aparelho é econômico nesse âmbito. Com isso, é possível ainda determinar se o respectivo aparelho é um agente passivo ou ativo no âmbito de impactos ambientais (LERCO, 2015).

Usando como base estimativas de mercado e a aplicação de metodologias específicas de avaliação de resultados, pode-se estimar os resultados no PROCEL a cada ano (ELETROBRÁS, 2019). Os resultados de 2018 são mostrados pela tabela 5

Tabela 5 – Resultados do PROCEL

Principais resultados energéticos das ações do Procel em 2018

Energia economizada (bilhões de kWh)	22,99
Demanda retirada da Ponta (MW)	7.257
Emissão de CO ₂ equivalente evitada (milhão tCO _{2e})	1,701
Economia em relação ao consumo total de energia no Brasil (%)	4,87
Economia em relação ao consumo residencial de energia no Brasil (%)	16,9
Número de residências que poderiam ser atendidas com a energia economizada durante um ano (milhões)	12,12

Fonte: Eletrobrás (2019)

Como mostra a tabela 5, a economia alcançada no ano ade 2018 foi de aproximadamente 23 bilhões de kWh. Essa energia economizada ajudou o país a evitar que cerca de 1,7 milhão tCO₂ equivalentes fossem liberadas na atmosfera, o que corresponde às emissões proporcionadas por 584 mil veículos 2 durante um ano. Em relação a demanda, os resultados do PROCEL contribuíram para uma redução de cerca de 7 MW. Já em relação ao custo anual evitado, as ações desse programa colaboraram com aproximadamente R\$ 5%. Por sua vez, os recursos financeiros aplicados pela Eletrobras no programa totalizaram cerca de R\$ 5 milhões (ELETROBRÁS, 2019).

Além do Selo PROCEL para equipamentos elétricos, existem outras iniciativas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica que atuam nos mais diversos setores da economia nacional. Indústria, saneamento, edificações, iluminação pública e educação são exemplos de áreas cobertas pelas ações do programa (LERCO, 2015).

O mais recente Plano de Aplicação de Recursos do PROCEL, aprovado em dezembro de 2018, prevê investimentos de mais de R\$ 140 milhões em todas as vertentes de atuação do programa. Tais investimentos vão ainda ser aplicados em atividades de disseminação de informação para a população em relação à economia de energia, entre outras para auxiliar no planejamento do setor. Com isso, espera-se que nos próximos anos hábitos de consumo sejam mudados para uma tendência a ações mais eficientes (ELETROBRÁS, 2019).

2.3.3 Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios Programa Luz no Campo

O Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo foi instituído para promover a melhoria das condições socioeconômicas das áreas rurais do País. (BRASIL, 1999). O programa foi lançado em 2000 e era estimado em R\$ 2,3 bilhões e seu objetivo era levar energia elétrica a 1 milhão de famílias rurais em 3 anos. Atingiu 42% da meta em junho de 2002, com 419 mil unidades consumidoras atendidas (SUGIMOTO, 2002).

A meta era atingir 100% de eletrificação em oito estados do Sul e do Nordeste; e dois terços de eletrificação em mais nove estados, em suas regiões rurais, num prazo de cinco anos. Após 2 anos meio de sua implementação o programa tinha uma média de 2,08 milhões de habitantes beneficiados (BARRETO; VALENTE; MOUSINHO, 2005).

O Programa Luz no Campo foi um dos maiores programas de eletrificação rural realizados no país. Esse programa contava com um prazo curto para conclusão, sendo ainda de grande dimensão, mas em 2002 atingiu a universalização de 90,8% de casas com energia elétrica. Ao fim de 2003 foi incorporado pelo seu sucessor, o Programa Luz para Todos. (BARRETO; VALENTE; MOUSINHO, 2005).

2.3.4 Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos

O programa Luz para Todos foi criado em 2003 por meio do Decreto nº 4.873, do governo federal com o nome de Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da

Energia Elétrica – Luz para Todos. Posteriormente, o Decreto nº 6.442/2008 e o nº 7.324/2010, alteraram o programa, de modo a estender os prazos (FREITAS; SILVEIRA, 2015).

O objetivo inicial desse programa era, até o ano de 2008, ser capaz de atender à parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não tivesse acesso à energia elétrica. No contexto de criação do programa, 80% da exclusão elétrica era localizada no meio rural. (BRASIL, 2003).

Além do objetivo principal, outras metas foram a melhora na prestação de serviços à população beneficiada, mitigar o potencial impacto tarifário, entre outros. Assim, em última instância, o governo procurava assegurar que a eletrificação do campo resultasse em uma incremento da produção agrícola, proporcionando o aumento de renda e a inclusão social da população beneficiada (BRASIL, 2003). Assim, o Luz para todos surgiu num contexto em que o governo procurava relacionar a energia elétrica ao avanço em termos de desenvolvimento esperado para o país (FREITAS; SILVEIRA, 2015).

Já em julho de 2011 o programa Luz para Todos foi novamente alterado pelo Decreto nº 7520, que possuía o mesmo objetivo de universalização do serviço de acesso e uso de energia elétrica à população do meio rural, mas no período mais recente de 2011 a 2014. Destaca-se que nesse período o foco foi nas Regiões Norte e Nordeste do país, em que o quadro de exclusão ainda se encontrava precário (FREITAS; SILVEIRA, 2015).

O programa nessa segunda fase teve modificações em relação aos critérios de priorização, de modo a atender as regiões com mais baixos IDH e com dificuldades naturais, como localização geográfica, dificuldade de acesso, dispersão entre as residências, entre outros fatores. Isso era necessário, uma vez que esse tipo de local tende a exigir custos maiores para a implantação de ligações elétricas, inviabilizando a eletrificação sem o aporte do programa Luz para Todos (FREITAS; SILVEIRA, 2015).

A meta inicial era de dois milhões de ligações, atendida em maio de 2009, beneficiando 10 milhões de pessoas. Com a prorrogação do programa para 2010, a nova meta foi estabelecida em 2.965.988 milhões, sendo que até julho de 2011 foram atendidos 2.804.669 milhões, beneficiando 14.023.345 milhões de pessoas (REIS JUNIOR, 2015).

Alguns dos resultados indiretos foram a melhoria nas atividades escolares proporcionadas pela possibilidade de aulas no período noturno e até mesmo utilização de tecnologias como instrumento de aprendizagem; aumento na produtividade, com compras de máquinas e equipamentos elétricos; consequentemente consumo de bens elétricos, como TV, geladeira, liquidificador, ferro de passar, resultando na movimentação da economia; entre outros (REIS JUNIOR, 2015).

Com esses resultados, a longo prazo, espera-se a diminuição da exclusão social, em que poderá ser observada, ainda, a melhoria na qualidade de vida dos beneficiários e o aumento da renda. Um dos efeitos não esperados foi o retorno do homem ao campo, em que se verificou a volta de 96.000 famílias à área rural, o que equivale a 480.000 pessoas (REIS JUNIOR, 2015). A tabela 6 mostra os resultados desse programa entre 2012 e 2020.

Tabela 6 - Programa Luz Para Todos - População atendida (mil)

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	População Acumulada
Brasil	443	322	284	237	296	280	284	318	202	16909,35
Norte	146	93	127	127	146	125	112	130	58	3934,46
Nordeste	250	203	127	94	134	142	143	146	116	8234,1
Sudeste	7	6	3	5	1	-	-	-	-	2498,81
Sul	7	7	7	0	-	-	-	-	-	1064,61
Centro-Oeste	33	13	20	11	14	13	29	41	28	1177,38

Fonte: EPE (2021).

Destaca-se que o Programa Luz para Todos, entre janeiro de 2015 e junho de 2018, realizou 215.299 ligações de energia, ultrapassando a meta de levar eletricidade para 206.246 residências no período entre 2015 e 2018. (VASCONCELOS, 2019). Além disso, como mostra a Tabela 6, 16909,35 mil pessoas foram beneficiadas pelo programa, mostrando o quanto o mesmo foi relevante para o país.

2.4 Caracterização dos índices de desenvolvimento humano

Os índices de desenvolvimento humano são tradicionalmente usados para auxiliar os governos a definir políticas públicas para as populações mais necessitadas. Tais índices são também usados para criar rankings, seja internacional, entre países, como nacionais, entre municípios ou estados, em que se pode comparar as condições de qualidade de vida entre tais locais. A seguir serão definidos os dois principais índices desse tipo usados no Brasil.

2.4.1 IDH

O IDH é um sistema de avaliação absoluto usado para classificar o grau de desenvolvimento econômico e a qualidade de vida de diferentes nações. As esferas consideradas no cálculo e avaliação do IDH são saúde, educação e renda de um determinado país. O índice é classificado de acordo com valores que variam de 0 a 1, respectivamente, de menor desenvolvimento humano e econômico ao maior (PNUD, 2020). São ainda definidos grupos para facilitar a rápida classificação dos países:

- IDH muito alto: valores entre 0,800 e 1,000;
- IDH alto: valores entre 0,700 e 0,799;
- IDH médio: valores entre 0,600 e 0,699;
- IDH baixo: valores entre 0,500 e 0,599);
- IDH muito baixo: valores entre 0,000 e 0,499.

O IDH surgiu no início dos anos 1990, ficando rapidamente popular na mídia, sendo então usado para definir um ranking mundial de desenvolvimento humano e qualidade de vida. A criação desse índice foi grandemente influenciada pelas deficiências observadas em outros índices tradicionalmente usados para o mesmo fim. (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005).

A chamada Primeira Geração de Indicadores era significativamente restrita e seus principais expoentes eram o Produto Interno Bruto (PIB) e o PIB per capita. O PIB é a soma de todos os bens e serviços produzidos em uma economia durante um certo período e o PIB per capita é a divisão do PIB do país pelo seu número de habitantes (ORSI, 2009).

O problema relacionado ao PIB e o PIB per capita é que ambos consideram apenas a esfera econômica, sendo que o crescimento econômico não necessariamente indica que houve uma evolução no nível de qualidade de vida de uma população (MATTEI; BEZERRA; DE MELLO, 2018).

Orsi (2009) destaca que desenvolvimento não deve ser pensado somente em termos econômicos propriamente ditos, mas deve incluir os aspectos sociais, pois a melhoria de vida da população é o que garante o seu verdadeiro desenvolvimento.

Por conta disso, ao longo dos anos o PIB e o PIB per capita se mostraram com várias desvantagens, como a incapacidade de refletir a distribuição da renda interna em cada unidade territorial, o fato de serem sensivelmente afetados pela variação cambial e o seu caráter unidimensional, ou seja, não captando outros aspectos essenciais, tais como a educação, saúde, meio ambiente etc. (MATTEI; BEZERRA; DE MELLO, 2018).

Nesse sentido, destaca-se o papel do Estado na promoção do desenvolvimento. O Estado tem mecanismos e recursos, que se aplicados de maneira correta, podem contribuir para melhorar o desenvolvimento dos estados e o nível de vida das pessoas (MATTEI; BEZERRA; DE MELLO, 2018).

Nessa conjuntura, ainda em 1990, o economista paquistanês Mahbub ul Haq liderou a equipe que desenvolveu o IDH como parte do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Desde sua criação, o IDH é publicado anualmente em relatórios temáticos. Como esse índice é calculado anualmente é possível comparar a situação relativa dos países na dimensão temporal (ORSI, 2009).

O IDH incorpora em sua análise as dimensões longevidade e educação combinadas mediante um procedimento aritmético simples. Para a dimensão renda, adota-se um procedimento de cálculo mais complexo, corrigindo o rendimento do país de modo a refletir seu poder de compra de forma realista (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005). A tabela 7 mostra os valores de IDH dos 10 primeiros países do ranking, além de mostrar o Brasil.

Tabela 7 – 10 maiores IDH em 2021 e IDH brasileiro

Posição	Países	IDH
1	Noruega	0,957
2	Irlanda	0,955
2	Suíça	0,955
4	Hong Kong	0,949
4	Islândia	0,949
6	Alemanha	0,947
7	Suécia	0,945
8	Austrália	0,944
8	Holanda	0,944
10	Dinamarca	0,94
84	Brasil	0,765

Fonte: ONU (2021)

Como mostra a tabela 7, a maioria dos países com maior qualidade de vida são da Europa, enquanto o Brasil está na octogésima quarta posição, significando que sua qualidade de vida ainda precisa melhorar muito para se nivelar aos melhores colocados nesse ranking.

No entanto, muitos países não possuem dados relativos à esperança de vida e educação de forma acessível, por isso, o IDH pode não ser coerente com realidade desses casos. Outro problema em relação ao IDH é que estabelece padrões mínimos universais de qualidade de vida, o que acaba por desconsiderar a grande diversidade entre as culturas dos vários países do globo (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005).

Mesmo apesar das suas desvantagens, o IDH continua a ser usado como o principal indicador de qualidade de vida para os países. Isso porque, conforme Guimarães e Jannuzzi (2005), o IDH tem como principal mérito o fato de sinalizar aos gestores públicos que o alcance do progresso não é advindo somente da incrementação da produção de bens e serviços, mas deve também englobar melhorias na educação e na saúde da população.

Conforme Cistaldo (2020), em 2020, o Pnud apresentou uma variante experimental do IDH para incorporar dois outros elementos, as emissões de dióxido de carbono e a quantidade de recursos naturais utilizados nas cadeias produtivas dos países, proporcionalmente às suas populações. Com isso, este índice procura se atualizar para abranger também a dimensão de sustentabilidade, se tornando cada vez mais completo.

2.4.2 IDHM

O IDHM é uma abrangência estatística do IDH, criado no Brasil para analisar os dados de cada município brasileiro nas mesmas três esferas consideradas para o IDH. Destaca-se que a comparação entre o IDH global com o IDHM brasileiro não é viável, uma vez que tais índices estão em dimensões distintas (MATTEI; BEZERRA; DE MELLO, 2018). Os valores do IDHM são fornecidos através do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD, 2021), que possui dados estatísticos de todos os municípios brasileiros.

O IDHM foi desenvolvido pela Fundação João Pinheiro e pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) para o estudo pioneiro sobre o desenvolvimento humano nos municípios mineiros em 1996 (ORSI, 2009).

Esse índice não é comparável ao IDH, mesmo que ambos considerem as mesmas dimensões de renda, educação e longevidade. Isso ocorre porque o IDHM foi adaptado em relação aos indicadores de renda e educação, para que esses refletissem de forma fidedigna o desenvolvimento humano da população efetivamente residente em cada município (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005).

Algumas das principais críticas ao IDHM é que ele utiliza como base para seu indicador de renda a renda municipal per capita, em lugar da renda familiar per capita média, o que desconsidera a família como a verdadeira unidade de consumo dos indivíduos e não contempla indicadores do nível de desigualdade da distribuição da renda e de aferição da proporção de pessoas e/ou famílias situadas abaixo de determinado nível de renda, como a proporção de

famílias pobres ou indigentes. Com isso, programas de planejamento voltados para maiores carências são prejudicados (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005).

Já em relação a educação, a adoção da taxa bruta de frequência à escola, não identifica a escolaridade média efetivamente alcançada pela população, além de não indicar o grau de distorção entre idade e série cursada, esse último diretamente relacionado com a qualidade do ensino (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005).

E por fim, na dimensão longevidade, sobressai o problema de usar a esperança de vida ao nascer como único indicador, que se mostra limitado em casos de unidades territoriais muito pequenas em termos populacionais (GUIMARÃES; JANNUZZI, 2005). Por conta de tais limitações o IDHM não se mostra suficientemente robusto para ser o único indicador usado para definir os municípios que serão alvo de políticas públicas.

No entanto, o IDHM também possui vantagens como ser um índice capaz de sintetizar uma realidade complexa em um único número, viabilizando a comparação entre os municípios brasileiros ao longo do tempo. Com isso, pôde-se criar um ranking entre os municípios, o que estimula formuladores e implementadores de políticas públicas, especialmente no nível municipal, a priorizarem a melhoria da vida das pessoas em suas ações e decisões. Nesse contexto, a tabela 8 mostra as 10 cidades com maior IDHM no Brasil, no ano de 2020.

Tabela 8 – 10 maiores IDHM em 2020

Município	Estado	Região	Posição IDHM	IDHM	IDHM Renda	IDHM Educação	IDHM Longevidade
São Caetano do Sul	SP	Sudeste	1	0,862	0,887	0,811	0,891
Águas de São Pedro	SP	Sudeste	2	0,854	0,890	0,825	0,849
Florianópolis	SC	Sul	3	0,847	0,873	0,800	0,870
Balneário Camboriú	SC	Sul	4	0,845	0,894	0,789	0,854
Vitória	ES	Sudeste	4	0,845	0,855	0,805	0,876
Santos	SP	Sudeste	5	0,84	0,852	0,807	0,861
Niterói	RJ	Sudeste	6	0,837	0,854	0,773	0,887
Joaçaba	SC	Sul	7	0,827	0,891	0,771	0,823
Brasília	DF	Centro-Oeste	8	0,824	0,873	0,742	0,863
Curitiba	PR	Sul	9	0,823	0,855	0,768	0,850

Fonte: PNUD (2021).

Conforme mostra a tabela 8, os maiores IDHM estão nas Regiões Sudeste e Sul, com apenas um deles na Região Centro-Oeste e nenhum das Regiões Nordeste e Norte. Assim, fica evidente que as regiões Norte e Nordeste ainda necessitam melhorar nesse índice, para que possam configurar em maiores posições no ranking nacional.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa pode ser considerada, quanto aos fins, como exploratória, pois busca compreender a relação entre dois parâmetros não comumente relacionados estudos nessa área. Segundo Gil (2002), uma pesquisa exploratória busca proporcionar maior familiaridade com o problema de modo a torná-lo mais explícito.

Isto posto, a metodologia utilizada foi, primeiramente a pesquisa bibliográfica que pode ser definida como aquela que é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos (GIL, 2002).

Na etapa da pesquisa bibliográfica procurou-se aprofundar o conhecimento sobre o panorama energético do Brasil, sua geração, transmissão e distribuição, além da demanda do país e dos respectivos programas de incentivo à energia elétrica. Também foram pesquisados os conceitos relativos aos índices IDH e IDHM, bem como as vantagens e desvantagens do uso de cada um.

Após o aprofundamento teórico, foi realizada a etapa do estudo de caso. Em que esse tipo de pesquisa se caracteriza como o estudo profundo de um objeto, de maneira que permita seu amplo conhecimento (GIL, 2002).

Assim, este estudo de caso teve como foco a compreensão da relação entre os municípios de Rondônia com baixo IDHM com a falta de acesso à energia elétrica da população desses locais.

Como a coleta de dados para este estudo de caso foi realizada totalmente à base de documentos e estatísticas fornecidas pelo governo e organizações não governamentais, pode-se dizer que esta foi uma pesquisa documental. Conforme Gil (2002), uma pesquisa documental utiliza materiais que não receberam um tratamento analítico, incluindo os documentos conservados em arquivos de órgãos públicos e instituições.

Isto posto, como esta pesquisa procurou relacionar dois parâmetros, a mesma pode ser ainda caracterizada como descritiva. Isso porque, conforme Gil (2002), pesquisas desse tipo podem ter dois tipos de objetivos, a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, o estabelecimento de relações entre variáveis.

4 RESULTADOS

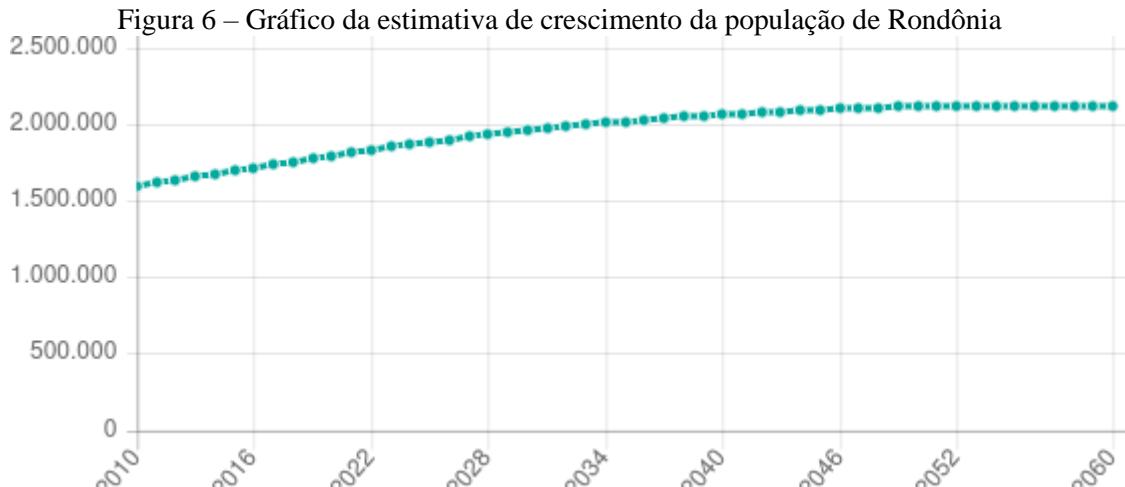
Conforme indicado pela metodologia, primeiramente será caracterizado o Estado de Rondônia, destacando algumas de suas principais características. Segundo o IBGE (2020), Rondônia possui uma área de 237 590,547 km² e sua capital é o município de Porto Velho. Esse Estado possui 52 municípios, mostrados pelo mapa da figura 5.

Figura 5 – Mapa dos municípios de Rondônia



Fonte: SETUR (2019).

Rondônia é banhada pelo rio Madeira, sendo ainda o terceiro Estado mais rico da Região Norte, responsável por 11% do PIB da região (IBGE, 2021). Outro importante dado para este trabalho diz respeito à população prevista para o Estado nos próximos anos. O gráfico da figura 6 mostra a estimativa de crescimento da população a médio e longo prazo.



Fonte: IBGE (2021).

Conforme indicado pela breve caracterização do Estado, Rondônia possui uma previsão de crescimento da população, indicando que haverá necessidade de investimentos em infraestrutura por parte do governo, para que haja uma maior qualidade de vida no Estado.

4.1 Capacidade instalada e geração de energia elétrica em Rondônia

No contexto do crescimento da população haverá necessidade de maior geração de energia elétrica para atendimento da demanda dessa população. Assim, em relação às usinas existentes no Estado, pode-se destacar as usinas de maior capacidade instalada, que são a Usina Hidrelétrica de Jirau e a de Santo Antônio, ambas localizadas na capital Porto Velho. Como a capital contribui com cerca de 95% da potência outorgada para o Estado, a tabela 9 mostra os municípios que possuem as usinas em operação que correspondem aos outros 5% de Rondônia.

Tabela 9 – Usinas de geração de Energia Elétrica em operação

Município	Potência Outorgada (kW)	Participação (%)
Humaitá	77	0,02%
Izidolandia	880,0	0,21%
-	1.000,0	0,24%
Guajará Mirim	1.204,0	0,29%
Rolim de Moura	1.830,0	0,44%
Pacarana	2.200,0	0,52%
Ji-Paraná	2.250,0	0,54%
Espigão D'Oeste	2.300,0	0,55%
Nova Mamoré	3.220,5	0,77%
Campo Novo de Rondônia	3.520,0	0,84%
Pimenteiras do Oeste	3.804,4	0,91%
Vale do Anari	4.840,0	1,15%
Costa Marques	6.964,0	1,66%

Santa Luzia D’Oeste	8.280,0	1,97%
São Francisco do Guaporé	8.332,0	1,99%
Candeias do Jamari	8.600,0	2,05%
Rio Branco	9.801,0	2,34%
Corumbiara	9.832,0	2,34%
Chupinguaia	9.880,0	2,36%
Cujubim	12.000,0	2,86%
Machadinho	15.000,0	3,58%
Colorado do Oeste	15.376,0	3,67%
Buritis	18.000,0	4,29%
Monte Negro	21.810,0	5,20%
Alta Floresta D’Oeste	23.680,0	5,65%
Ariquemes	37.000,0	8,82%
Vilhena	51.426,2	12,26%
Pimenta Bueno	136.200,0	32,48%

Fonte: Adaptado de ANEEL (2021).

A tabela 9 mostra que a cidade com menor participação é Humaitá, com apenas 0,02% do total, enquanto Pimenta Bueno possui pouco mais de 32%. Destaca-se ainda, que a maioria das cidades contribui com menos de 5%, indicando uma baixa capacidade instalada.

No Anexo A são mostrados não só os municípios e suas respectivas potências outorgadas, mas também os tipos de usina, suas fontes e o nome de cada empreendimento. Conforme indica o Anexo A, Rondônia possui 83 usinas, em que 48 são termelétricas, com apenas duas de biomassa, e as outras à base de fonte fóssil. Tem-se ainda 3 usinas solares e as outras 32 usinas são de fonte hídrica, contando com quatro UHE, 11 Centrais Hidrelétricas (CGH) e as 17 restantes são PCH.

Com base nesses dados fica evidente que o Estado ainda é muito dependente de fonte fóssil. Mas, essa tabela mostra também a grande quantidade de PCH em operação, o que significa que usinas consideradas mais sustentáveis também são instaladas em Rondônia.

Além das usinas em operação, também é possível obter dados referentes às usinas previstas para o local. Essas são mostradas pela tabela 10.

Tabela 10 – Usinas previstas para RO

Previsão de Operação (Ano)	Usina	Potência Outorgada (kW)	Viabilidade	Justificativa para Previsão
2025	Machadinho I	10500	Média	Situação das obras de conexão e linha de transmissão associada.
2025	Cachoeira Formosa	12300	Média	Situação das obras de conexão e linha de transmissão associada.
2025	Urubu	21000	Média	Situação do licenciamento ambiental
Sem Previsão	Apertadinho	30000	Baixa	Paralisação de obras.

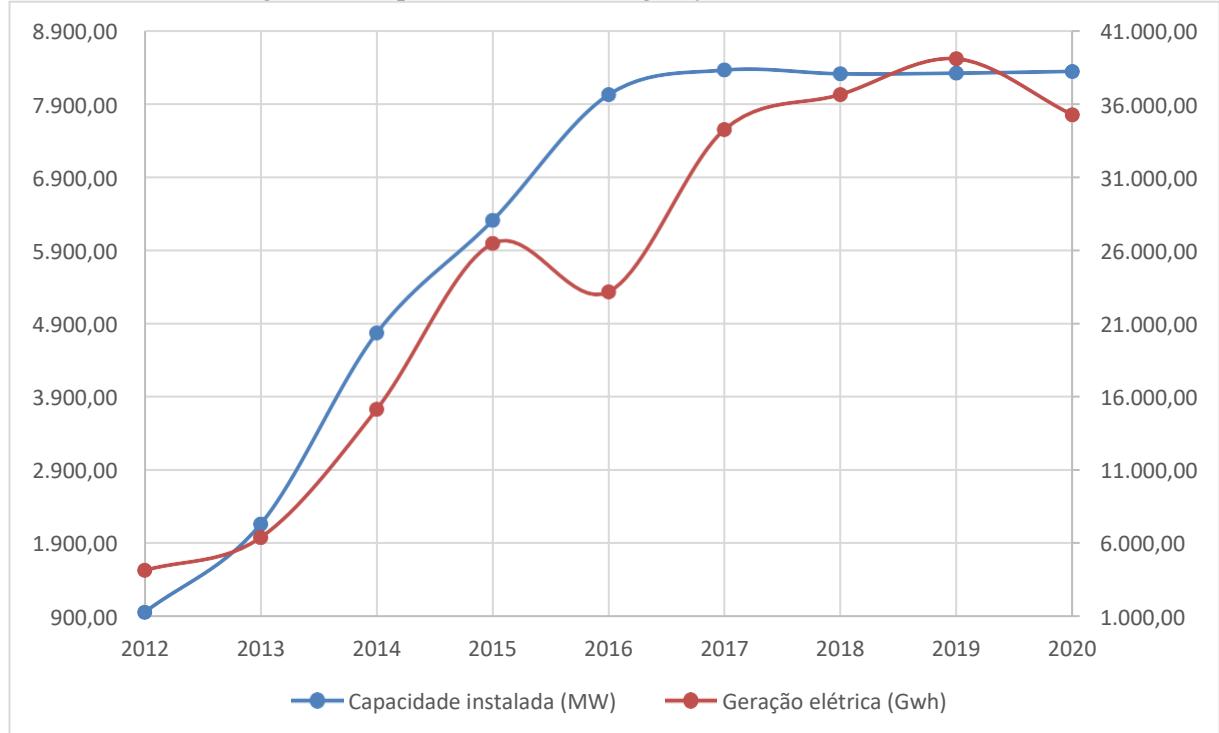
Fonte: ANEEL (2021).

Conforme mostrado pela tabela 10 mais três usinas do tipo PCH estão previstas para serem instaladas até 2025, o que traria uma potência instalada de mais 43.800 kW. Dentre essas 3 usinas, duas então em situação de obras de Linhas de Transmissão, enquanto a outra está em licenciamento ambiental. Com isso, pode-se inferir que a PCH Urubu está em uma fase anterior às outras duas, o que pode significar um atraso ainda maior para sua entrada em operação.

Já o caso da quarta usina mostrada na tabela 10, pode-se inferir que dificilmente a mesma será colocada em operação, já que sua viabilidade é baixa e está em situação de paralisação de obras.

Em relação oferta de energia elétrica no estado, é necessário diferenciar a capacidade instalada da geração de eletricidade, em que o primeiro parâmetro indica a capacidade nominal de potência das Usinas do estado, enquanto a geração indica a quantidade de energia efetivamente gerada. O gráfico da figura 7 mostra, respectivamente, a capacidade instalada e a geração de Rondônia em 2020.

Figura 7 – Capacidade instalada e geração elétrica em Rondônia



Fonte: Adaptado de IBGE (2021).

Conforme mostra a figura 7, tanto a geração como a capacidade do Estado cresceram nos últimos 9 anos. Com isso, fica evidente que Rondônia teve um aumento de sua possibilidade de suprimento da sua demanda nesse período.

No entanto, nem sempre a energia gerada em um local necessariamente é consumida nele. Isso é verdadeiro principalmente para os casos de usinas conectadas ao SIN, pois este sistema precisa atender a todo país, logo, a maior parte da energia é consumida nos grandes centros de demanda, em sua maioria localizados na Região Sudeste.

No caso de Rondônia, em que existem desde usinas conectadas ao SIN, como aquelas pertencentes a sistemas isolados, muito de sua demanda local é suprida pelos Sistemas Isolados. Rondônia possui 25 Sistemas Isolados, todos na área de concessão da Energisa, sendo supridos por usinas termelétricas a óleo diesel, contratadas por meio de leilões realizados em 2014 e 2015 (EPE, 2020).

As usinas pertencentes aos Sistemas Isolados foram previamente demonstradas na tabela 9. Algumas delas são a Izidolândia, Urucumacuã, Alvorada D' Oeste, entre outras. A EPE, em um estudo de 2020, analisou os custos da geração local por termelétricas a diesel versus os custos da interligação dessas localidades ao SIN, por meio de redes de distribuição. Com base nesse estudo, foi publicada uma portaria que determinou que a distribuidora Energisa Rondônia executasse as obras de interligação dessas localidades.

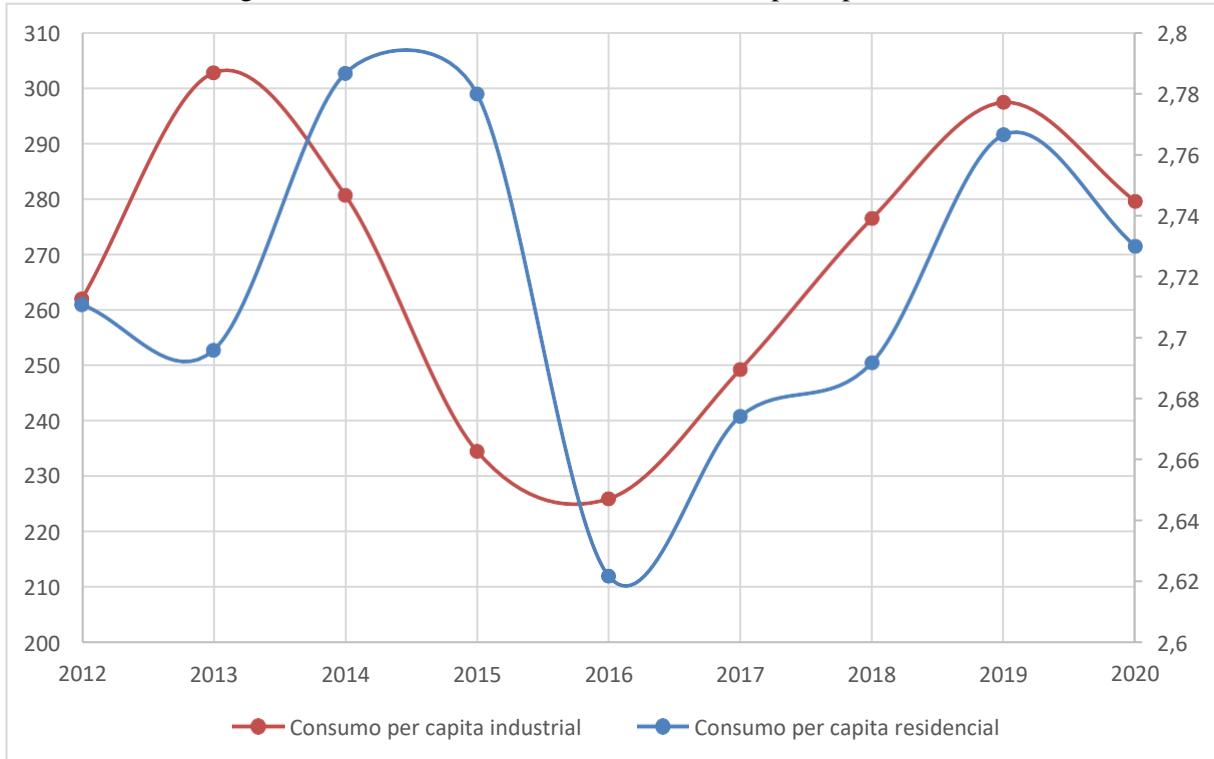
Com isso, pode-se inferir que a EPE espera que as Regiões atendidas pelos Sistemas isolados tenham maior possibilidade de atendimento de sua demanda, uma vez que a demanda futura tende a aumentar com o aumento da população, logo, o Sistema Isolado não poderia atendê-la integralmente.

Nesse contexto, pode-se então definir o consumo de energia elétrica do Estado é equivalente à sua demanda. Além disso, a partir do consumo presente é possível estimar o consumo futuro.

4.2 Consumo de eletricidade em Rondônia

O consumo do Estado de Rondônia pode ser definido a partir da comparação entre o consumo das classes de consumidores. Conforme indicado no desenvolvimento teórico, os maiores consumos tendem a ser os das classes residencial e industrial. Além disso, por meio da quantidade de consumidores residenciais é possível calcular o consumo per capita. Já no caso do consumo industrial, esse trabalho considerou que o consumo per capita é por unidade industrial, conforme a quantidade mostrada por EPE (2021). Por isso, o histórico dos consumos per capita residencial e industrial serão mostrados pelo gráfico da figura 8.

Figura 8 – Gráficos do histórico dos consumos per capita do estado



Fonte: Adaptado de IBGE (2021).

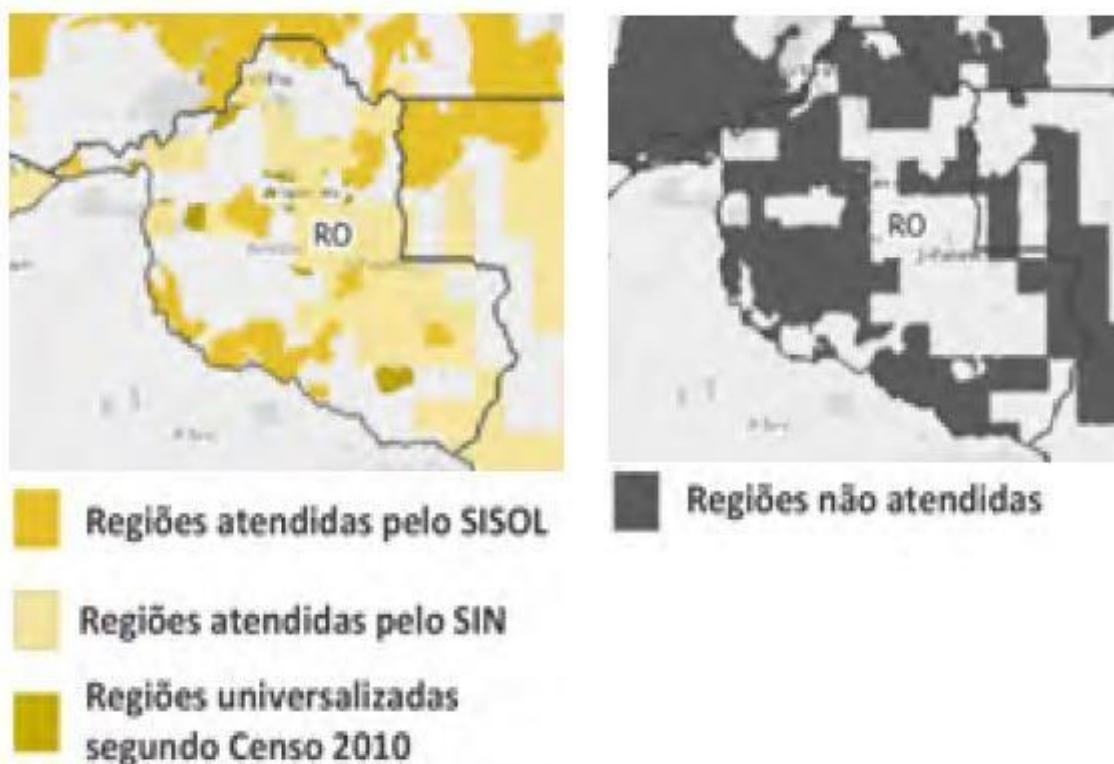
Como mostra o gráfico da figura 8, tanto o consumo industrial como o residencial tiveram crescimento ao longo desses nove anos, o que é consistente com os dados anteriores de aumento da geração e da capacidade instalada de Rondônia. Além disso, comparando a série histórica residencial com a industrial fica evidente que em ambas as quedas e os aumentos ocorreram nos mesmos períodos.

Conforme mostra a figura 8, em ambos os casos, os consumos per capita se mantiveram relativamente similares em suas variações. Por isso, pode-se inferir que a demanda futura também seguirá essa tendência.

Assim, analisando o gráfico da figura 6, fica claro que a população tende a crescer nos próximos anos, por isso, pode-se esperar um crescimento também das demandas residenciais e industriais no futuro.

No entanto, mesmo com oferta de energia de Rondônia sendo da ordem de 35 GWh, ainda existem regiões do Estado não atendidas por energia elétrica. Conforme o relatório do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) (2021), mais de 100 mil pessoas ainda não tem acesso a esse recurso. A figura 9 mostra uma comparação entre os locais em que não há energia elétrica, e aqueles em que as populações são atendidas seja pelo SIN ou por Sistemas Isolados.

Figura 9 – Comparação entre Regiões atendidas e não atendidas por eletricidade



Fonte: Adaptado de IEMA (2021).

O instituto destaca que este estado é o terceiro dentre os que têm mais pessoas em situação de exclusão elétrica da região norte. O número de habitantes sem energia elétrica corresponde a 6,1% da população do estado. Quase 40 mil potenciais consumidores estão em áreas remotas. Guajará-Mirim (RO) é o décimo município na lista dos que tem maior número de pessoas sem acesso à energia elétrica. São 21.356 moradores sem o serviço.

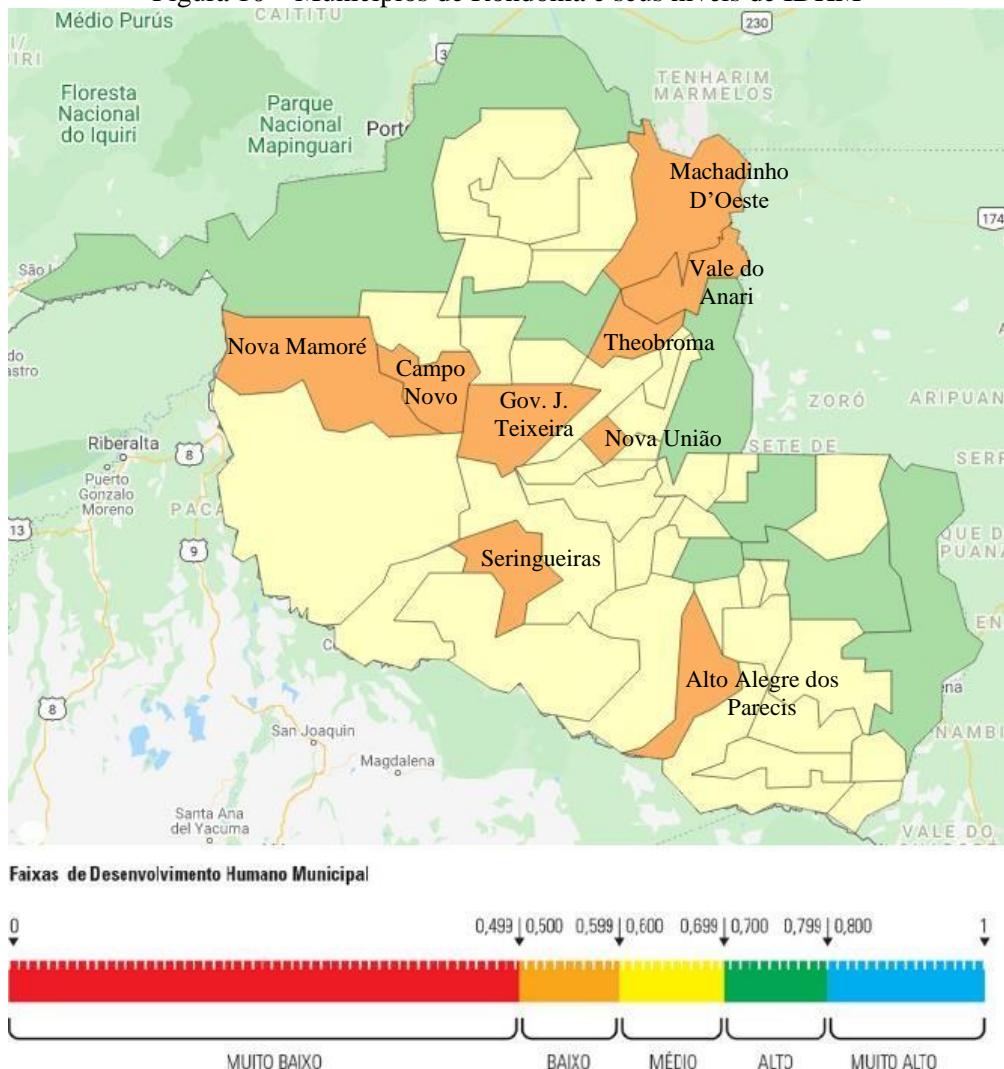
Segundo IEMA (2021), o atendimento do SIN, geralmente é restrito a capitais e regiões metropolitanas, enquanto regiões rurais tendem a ser naturalmente isoladas. Nesse caso, tendem a ser atendidos por Sistemas Isolados, no entanto, certos locais ainda são considerados em situação de exclusão elétrica.

Nesse contexto, pode-se analisar o IDHM dos municípios do Estado para definir se existe relação entre esses índices e a exclusão elétrica observada em certos municípios de Rondônia.

4.3 IDHM de Rondônia

Para analisar o IDHM usa-se o mesmo tipo de comparação em níveis definido para o IDH, em que existem cinco níveis indo de muito baixo para muito alto. A figura 10 mostra um mapa com os 52 municípios de Rondônia e seus respectivos níveis de IDHM.

Figura 10 – Municípios de Rondônia e seus níveis de IDHM



Fonte: PNUD (2021).

Conforme mostra o mapa da figura 10, Rondônia possui 9 municípios com IDHM baixo. Comparando-se a figura 10 com a figura 9, fica evidente que ao menos regiões pertencentes a esses 9 municípios fazem parte de áreas consideradas de exclusão elétrica. É possível ainda verificar, conforme a tabela 9, se algum desses 9 municípios possui ao menos uma usina de geração para suprir parte de sua demanda.

Destaca-se que PNUD (2021) também usa os dados do último censo do IBGE, referentes à porcentagem de pessoas em domicílios com energia elétrica 2010, como um de seus indicadores.

O Anexo B mostra uma tabela com todos os municípios de Rondônia e seus respectivos IDHM, tanto em 2000 como em 2010, além de mostrar para esses mesmos anos a porcentagem de pessoas em domicílios com energia elétrica. Com base nesses dados pode-se realizar correlação linear simples calculada entre duas variáveis, o IDHM e a porcentagem pessoas em domicílios com acesso à energia elétrica, tanto para o ano de 2000, como para o ano de 2010.

Para o ano de 2000, o índice de correlação de Pearson foi de 0,86 e para o ano de 2010 esse índice foi de 0,62. Com isso, conclui-se que existia uma alta correlação entre esses parâmetros, mas que diminuiu para uma correção moderada ainda em 2010. Logo, é razoável prever que tais variáveis continuam a possuir correlação.

Com base no Anexo B e nos dados de usinas da tabela, tem-se o resumo dos dados de energia elétrica para os 9 municípios com menores IDHM de 2010, conforme mostra a tabela 11.

Tabela 11 - Energia elétrica para os 9 municípios com menores IDHM de 2010

Município	Tipo de Usina	Operação	Potência Outorgada (kW)	% de pessoas em domicílios com energia elétrica 2010
Vale do Anari	UTE	2016	4.840,00	89,36
Nova Mamoré	UFV	2001	20,48	91,43
	UTE	-	3.200,00	
Nova União	-		-	96,98
Theobroma	-		-	95,37
Alto Alegre dos Parecis	-		-	91,11
Campo Novo Machadinho D'Oeste	UTE	2016	3.520,00	84,79
Governador Jorge Teixeira	UTE	2016	15.000,00	88,10
Seringueiras	-		-	94,34
	-		-	96,00

Fonte: Autor

Conforme mostra a tabela 11, mesmo em municípios com usinas instaladas, ainda existem pessoas sem energia elétrica. Com isso, fica ainda mais evidente a situação de exclusão elétrica demonstrada pela figura 9, pois os Sistemas Isolados não se mostram capazes de suprir toda a demanda da localidade e de seus arredores.

A situação do município Machadinho D'Oeste é a que mais se destaca nesse tipo de cenário, uma vez que em 2010 possuía apenas 88% de pessoas em domicílios com energia elétrica, mas a partir de 2016 passou a contar com uma potência outorgada de 15MW. No

entanto, como mostra o mapa da figura 9, ainda existem regiões nesse município que não contam com fornecimento de eletricidade.

O mesmo pode-se dizer dos municípios de Vale do Anari e Campo Novo, ambas que também passaram a ter usinas termelétricas a partir de 2016, sendo consideradas microgeração, por terem potência menor que 5MW. Conforme o mapeamento realizado em 2020 pelo IEMA, ambas as cidades parecem possuir regiões de exclusão elétrica, o que pode significar que a potência gerada pelas usinas não é suficiente.

Por outro lado, Nova Mamoré possui duas usinas, sendo uma a única fotovoltaica registrada no Estado, mas com uma pequena potência instalada, que provavelmente é de consumo próprio, e a outra uma UTE também de microgeração. Conforme a figura 9, parece existir ainda uma pequena região desse município que não recebe energia elétrica.

Já em relação aos outros municípios, que não possuem usinas de geração em operação, pode-se esperar que suas porcentagens de pessoas sem energia elétrica determinadas pelo censo de 2010 foram mantidas. Além disso, pode-se ainda notar que no mapa da figura 9, várias das áreas de exclusão elétrica fazem parte desses municípios.

Sendo assim, foi possível compreender que os municípios com os menores IDHM de Rondônia são também alguns dos que possuem áreas de exclusão elétrica. Com isso, fica evidente também que mesmo com críticas ao IDHM, esse índice se mostra como um bom indicador de locais que necessitam de mais investimentos para melhorar sua infraestrutura elétrica.

5 CONCLUSÃO

De acordo com o que foi mostrado ao longo do trabalho, nota-se que o Brasil possui uma infraestrutura elétrica que atende às demandas de grande parte de sua população, com um histórico de crescimento da oferta que indica uma continuação desse suprimento de energia elétrica nos próximos anos.

Em relação ao Estado de Rondônia, o qual foi a base para o estudo de caso desse trabalho, mesmo que seu histórico mostre um suprimento de grande parte da demanda, ainda há um atraso na geração e distribuição da energia elétrica para todos os municípios.

Conforme indicado pelos resultados desta pesquisa, existe uma correlação mediana entre as variáveis IDHM dos municípios e a porcentagem de pessoas em domicílios com energia elétrica. Além disso, através da comparação de dados de diferentes fontes, foi perceptível que áreas de Rondônia em que há exclusão elétrica estão localizadas em municípios com níveis baixos de IDHM.

Uma das limitações dessa pesquisa foi o fato de ter se baseado em apenas um Estado do país para obter as conclusões sobre a relação positiva entre os parâmetros estudados, logo, pode não ser possível estender as mesmas conclusões para o país como um todo. Além disso, nas bases de dados disponíveis, faltaram informações sobre as demandas por município, o que tornaria esta análise mais precisa. Tem-se ainda, que mesmo municípios com valores de médio IDHM possuem áreas de exclusão elétrica, o que indica que outras variáveis podem estar também relacionadas aos dois parâmetros analisados.

Sendo assim, este estudo pôde contribuir com a demonstração de que a falta de abastecimento elétrico no estado de Rondônia influencia na qualidade de vida da população local, mesmo que o Estado possua não só grandes usinas hidrelétricas, como também várias outras usinas de geração de eletricidade.

Isto posto, como trabalhos futuros pode-se investigar sobre outras variáveis que influenciam na exclusão elétrica de uma localidade, ampliando ainda este estudo para outros Estados do país de modo a englobar todo o Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 21-33. 2016.
- ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 6, n. 1, 2010.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2021.
- ANEEL– AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Anuário online** – 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica> Acesso em: 01 jun. 2021.
- ANEEL– AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Portaria nº 414** de 09 de setembro de 2010 - Condições Gerais de Fornecimento. v. 12, n. 03, 2012.
- BARRETO, E.; VALENTE, H. R; MOUSINHO, T. **Programa Luz no Campo**–Uma Matriz para o Planejamento da Universalização dos Serviços de Energia Elétrica na Bahia. 2005.
- BRASIL. **DECRETO DE 2 DE DEZEMBRO DE 1999**: Institui o Programa Nacional de Eletrificação Rural "Luz no Campo", e dá outras providências. 1999.
- BRASIL. **Decreto no 4.873**, de 11 de novembro de 2003, institui o Programa LUZ PARA TODOS. 2003.
- CARDOSO, O. R., ROCHA, N. D., XAVIER, R., VALDUGA, E., DISCONZI, G., RADTKE, L., & Cruz, R. C. Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCH). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 507-522, 2015.
- CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Entenda o mercado e a CCEE**. 2020. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/entenda_mercado?_afrLoop=31962317103132&_adf.ctrl-state=5j6go00rv_1#%40%40%3F_afrLoop%3D31962317103132%26_adf.ctrl-state%3D5j6go00rv_5 Acesso em: 07 abr. 2021.
- COUTINHO, F. J. **Uso de energia fotovoltaica em edificação** - Vantagens e desvantagens em relação a energia elétrica convencional. 2019.
- CURTY, M. G. **Avaliação Do Impacto Na Operação Do Sistema Interligado Nacional Devido À Mudança Do Perfil Do Parque Gerador**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.
- ELETROBRÁS. **Resultados PROCEL 2019**: ano base 2018. 2019. Disponível em: <www.procelinfo.com.br> Acesso em: 10 maio 2021.

ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 748-764, 2014.

EPE - EMPRESA DE ENERGIA ELÉTRICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020** - Ano Base 2019. **EPE**: Rio de Janeiro, Brasil, 2020.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2050**. Rio de Janeiro, setembro de 2018. Disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em 23 maio. 2021.

EPE– EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **SISTEMAS ISOLADOS**. 2020. Avaliação dos Benefícios da Interligação dos Sistemas Isolados de Rondônia. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sistemas-isolados>> Acesso em: 05 jun. 2021.

FERREIRA, A. C.; BLASQUES, L. C. M.; PINHO, J. T. Avaliações a respeito da evolução das capacidades contratada e instalada e dos custos da energia eólica no Brasil: do PROINFA aos leilões de energia. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 5, n. 1, 2014.

FERREIRA, G. A.; ASSED, C. O setor de energia elétrico brasileiro e a teoria dos leilões. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, vol. 9, | núm. 3 . 2020, p. 52 – 67.

FIGUEIREDO et al. Produção de energia elétrica através da biomassa em sistema de gaseificação concorrente e grupo gerador com capacidade de 50 kVA. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 32, n. 2, p. 165-174, 2012.

FREITAS, G.; SILVEIRA, S. F. R. Programa Luz Para Todos: uma representação da teoria do programa por meio do modelo lógico. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 45, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. GONÇALVES, O. A. V.; GUTIERREZ, R. H.; DOS SANTOS, I. J. A. L. Método para identificação dos critérios utilizados na gestão do consumo de energia elétrica: estudo de caso em um instituto de pesquisa da área nuclear. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 5, n. 7, p. 116-131, 2017.

GUIMARÃES, J. R. S.; JANNUZZI, P. M. IDH, indicadores sintéticos e suas aplicações em políticas públicas. Uma análise crítica. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)**, v. 7, n. 1, p. 73-90, 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do estado de Rondônia**. 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/panorama>> Acesso em: 10 abr. 2021

LEÃO, L. L. **Considerações sobre impactos socioambientais de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs): modelagem e análise**. 2008. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 2008.

LEITE, A. P. **Modelagem de fazendas eólicas para estudos de confiabilidade**. Rio de Janeiro, BR: Dissertação de M. Sc., UFRJ, 2015.

- LEITE, N. C. et al. **Os desafios do armazenamento de energia no setor elétrico.** 2017.
- LERCO, F. M. S. Estudo da eficiência energética na Biblioteca Municipal de Campo Mourão-PR conforme o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica–PROCEL Edifica. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- LEVA, F. F. et al. Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico. **Encontro Energia Meio Rural**, v. 5, 2004.
- MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13, 2008.
- MATTEI, T. F.; BEZERRA, F. M.; DE MELLO, G. R. Despesas públicas e o nível de desenvolvimento humano dos estados brasileiros: uma análise do IDHM 2000 e 2010. **Race: revista de administração, contabilidade e economia**, v. 17, n. 1, p. 29-54, 2018.
- NASCIMENTO, C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** (Dissertação) Especialização em Fontes Alternativas de Energia. Lavras: UFLA. 2004.
- OLIVEIRA, K. L. M. **Projeto Básico de um Parque Eólico e Estudos de Conexão.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil, 2014.
- ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Mapa Dinâmico do SIN.** 2019. Disponível no endereço eletrônico: < www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas > Acesso em 20 abr. 2021.
- ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **O Sistema Interligado Nacional.** 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin> Acesso em: 10 abril 2021.
- ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2020:** A próxima fronteira. O desenvolvimento humano e o Antropoceno. PNUD/ONU. 2021. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/>> Acesso em: 10 maio 2021.
- ORSI, R. A. **Reflexões sobre o desenvolvimento e a sustentabilidade:** o que o IDH e o IDHM podem nos mostrar? 2009.
- PIRES, J. C. L. **Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro.** 2000.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano 2020.** PNUD/ONU. 2021. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/>> Acesso em: 05 maio 2021.
- REIS JUNIOR, E. M. R. **Avaliação do programa Luz para todos no Estado do Amazonas sob o aspecto da qualidade da continuidade do serviço de energia elétrica.** (dissertação) - Programa de Pós-Graduação - Engenharia de Recursos da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, UFAM. 2015.
- SANTOS, D. H. S. **Um estudo sobre a viabilidade econômica da microgeração fotovoltaica residencial.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba. 2017.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital.** Master Degree Dissertation-Research Focus: Power Electronics, PPGEE-UFMG, 2009.

SETUR – Secretaria de Turismo. **Governo do Estado de Rondônia.** Mapa de Regionalização. 2019. Disponível em: <<http://www.rondonia.ro.gov.br/setur/institucional/gestao-de-turismo/mapa-de-regionalizacao/>> Acesso em: 17 abr. 2021

SILVA, M. M. et al. Viabilidade Econômica Da Implantação De Um Sistema De Energia Solar Fotovoltaica Em Uma Indústria Alimentícia. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, p. 113-121, 2019.

SILVA, S. S. F.; et al. Complementaridade Hidro Eólica: Desafios e Perspectivas para o Planejamento Energético Nacional, **HOLOS**, v. 6, 2016.

STUCHI, G. A. D.; TACONELLI, M.; LANGHI, V. A. B. Geração Termelétrica: Principais Componentes e tipos de centrais termelétricas. **Escola de Engenharia de São Carlos**: p. 15, 2015.

SUGIMOTO, L. Luz para os esquecidos. **Jornal da Unicamp**, ano XVII. Campinas: 2002.

THÉRY, H.; MELLO-THÉRY, N. A. O sistema elétrico brasileiro. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 26, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. **Rio de Janeiro: EPE**, 2016.

URBANETZ, J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas:** sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. (Tese) Doutorado em Engenharia Civil– UFSC, 2010.

VASCONCELOS, L. E. B. G. **Tributação indutora e o regime especial de incentivos para o desenvolvimento da infraestrutura.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2019.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. **BNDES Setorial**, n. 33, mar. 2011, p. 261-314, 2011.

ANEXO A – QUADRO DE USINAS EM RONDÔNIA

Empreendimento	Tipo	Potência Outorgada (kW)	Fonte	Municipio
Ângelo Cassol	PCH	3.600,00	Potencial hidráulico	Alta Floresta D'Oeste
Alta Floresta	PCH	5.000,00	Potencial hidráulico	Alta Floresta D'Oeste
Fazenda Figueirão	CGH	40,00	Potencial hidráulico	Alta Floresta D'Oeste
Figueira	PCH	1.400,00	Potencial hidráulico	Alta Floresta D'Oeste
Rio Branco	PCH	6.900,00	Potencial hidráulico	Alta Floresta D'Oeste
CNH Alvorada do Oeste	UTE	6.740,00	Petróleo/Diesel	Alta Floresta D'Oeste
Canaã	PCH	17.000,00	Potencial hidráulico	Ariquemes
Jamari	PCH	20.000,00	Potencial hidráulico	Ariquemes
CNH Buritis	UTE	18.000,00	Petróleo/Diesel	Buritis
CNH Campo Novo	UTE	3.520,00	Petróleo/Diesel	Campo Novo de Rondônia
CNH Distrito de Triunfo	UTE	8.600,00	Petróleo/Diesel	Candeias do Jamari
Cesar Filho	PCH	7.000,00	Potencial hidráulico	Chupinguaia
CNH Urucumacuã	UTE	880,00	Petróleo/Diesel	Chupinguaia
Marfrig Chupinguaia	UTE	2.000,00	Petróleo/Diesel	Chupinguaia
Castaman II	CGH	950,00	Potencial hidráulico	Colorado do Oeste
Colorado do Oeste	UTE	10.946,00	Petróleo/Diesel	Colorado do Oeste
Margarida Lltda	CGH	1.480,00	Potencial hidráulico	Colorado do Oeste
Rio Enganado	CGH	2.000,00	Potencial hidráulico	Colorado do Oeste
Alto Guarajus	UTE	232,00	Petróleo/Diesel	Corumbiara
Cascata Chupinguaia	PCH	9.600,00	Potencial hidráulico	Corumbiara
Bom Princípio	UTE	224,00	Petróleo/Diesel	Costa Marques
CNH Costa Marques	UTE	6.740,00	Petróleo/Diesel	Costa Marques
CNH Cujubim	UTE	12.000,00	Petróleo/Diesel	Cujubim
Espigão	CGH	2.300,00	Potencial hidráulico	Espigão D'Oeste
DTCEA-GM	UTE	408,00	Petróleo/Diesel	Guajará Mirim
DTCEA-GM II	UTE	136,00	Petróleo/Diesel	Guajará Mirim
Surpresa ? BBF RO	UTE	660,00	Petróleo/Diesel	Guajará Mirim
Maici ? BBF RO	UTE	77,00	Petróleo/Diesel	Humaitá

CNH Izidolandia	UTE	880,00	Petróleo/Diesel	Izidolandia
AMAZONBIO - INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE BIODIESEL DA AMAZÔNIA	UTE	1.000,00	Petróleo/Diesel	Ji-Paraná
Usf-bernardo Alimentos	UFV	1.250,00	Radiação solar	Ji-Paraná
CNH Machadinho	UTE	15.000,00	Petróleo/Diesel	Machadinho
Monte Belo	PCH	4.800,00	Potencial hidráulico	Monte Negro
Santa Cruz de Monte Negro	PCH	17.010,00	Potencial hidráulico	Monte Negro
Araras - RO	UFV	20,48	Radiação solar	Nova Mamoré
Nova Mamoré	UTE	3.200,00	Petróleo/Diesel	Nova Mamoré
CNH Pacarana	UTE	2.200,00	Petróleo/Diesel	Pacarana
Pimenta Bueno	UTE	13.000,00	Petróleo/Diesel	Pimenta Bueno
Primavera	PCH	25.700,00	Potencial hidráulico	Pimenta Bueno
Rondon II	UHE	73.500,00	Potencial hidráulico	Pimenta Bueno
Rondon II	UTE	24.000,00	Resíduos Florestais	Pimenta Bueno
São João PA	CGH	3.804,42	Potencial hidráulico	Pimenteiras do Oeste
A,C,D,A, IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO - PVH	UTE	600,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Aeroporto Internacional Governador Jorge Teixeira	UTE	797,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Calama ? BBF RO	UTE	1.694,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
CNH Nova Califórnia	UTE	4.840,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
CNH União Bandeirantes	UTE	6.720,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
CNH Vila Extrema	UTE	4.840,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
CNH Vista Alegre	UTE	9.200,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Conceição da Galera ? BBF RO	UTE	198,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Demarcação ? BBF RO	UTE	286,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
DTCEA-PV	UTE	528,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
DTCEA-PV II	UTE	400,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Jirau	UHE	3.750.000,00	Potencial hidráulico	Porto Velho
Nazaré ? BBF RO	UTE	742,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Pombal	UTE	48,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Samuel	UHE	216.750,00	Potencial hidráulico	Porto Velho
Santa Catarina ? BBF RO	UTE	234,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho

Santo Antônio	UHE	3.568.000,00	Potencial hidráulico	Porto Velho
São Carlos ? BBF RO	UTE	1.682,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Shopping Porto Velho	UTE	4.015,00	Petróleo/Diesel	Porto Velho
Termo Norte II	UTE	426.530,00	Gás natural	Porto Velho
Cachoeira Cachimbo Alto	PCH	9.801,00	Potencial hidráulico	Rio Branco
Marfrig Rolim de Moura	UTE	1.120,00	Petróleo/Diesel	Rolim de Moura
Nova Geaze	UTE	48,00	Petróleo/Diesel	Rolim de Moura
Rolim de Moura do Guaporé ? BBF RO	UTE	662,00	Petróleo/Diesel	Rolim de Moura
Saldanha	PCH	5.280,00	Potencial hidráulico	Santa Luzia D’Oeste
Santa Luzia D’Oeste	PCH	3.000,00	Potencial hidráulico	Santa Luzia D’Oeste
CNH São Francisco	UTE	8.100,00	Petróleo/Diesel	São Francisco do Guaporé
Pedras Negras BBF RO	UTE	232,00	Petróleo/Diesel	São Francisco do Guaporé
CNH Vale do Anari	UTE	4.840,00	Petróleo/Diesel	Vale do Anari
Cabixi	PCH	2.700,00	Potencial hidráulico	Vilhena
Cachoeira	PCH	11.120,00	Potencial hidráulico	Vilhena
CACHOEIRA DO CAMBARA	CGH	2.160,00	Potencial hidráulico	Vilhena
Chupinguaia	PCH	1.260,00	Potencial hidráulico	Vilhena
DTCEA-VH	UTE	528,00	Petróleo/Diesel	Vilhena
Marcol	CGH	2.500,20	Potencial hidráulico	Vilhena
Martinuv	CGH	1.840,00	Potencial hidráulico	Vilhena
Poço	CGH	720,00	Potencial hidráulico	Vilhena
Rical	UTE	2.288,00	Casca de Arroz	Vilhena
Rio Vermelho	CGH	2.560,00	Potencial hidráulico	Vilhena
Vilhena	UTE	23.750,00	Petróleo/Diesel	Vilhena
Cesar Filho I	UFV	1.000,00	Radiação solar	-
		8.417.411,10		

Fonte: Adaptado de ANEEL (2021).

ANEXO B – IDHM E ENERGIA ELÉTRICA – RONDÔNIA

Municípios	% de pessoas em domicílios com energia elétrica 2000	% de pessoas em domicílios com energia elétrica 2010	IDHM 2000	IDHM 2010
Porto Velho (RO)	97,05	98,2	0,613	0,736
Vilhena (RO)	96,76	98,29	0,62	0,731
Cacoal (RO)	90,58	98,89	0,567	0,718
Ji-Paraná (RO)	96,06	99,35	0,564	0,714
Pimenta Bueno (RO)	88,82	99	0,573	0,71
Ariquemes (RO)	93,43	98,58	0,556	0,702
Rolim de Moura (RO)	93,76	99,24	0,559	0,7
Cerejeiras (RO)	91,79	98,85	0,542	0,692
Jaru (RO)	83,37	99,4	0,514	0,689
Colorado do Oeste (RO)	92,39	97,76	0,545	0,685
Ouro Preto do Oeste (RO)	91,47	99,13	0,533	0,682
Espigão D'Oeste (RO)	77,67	96,7	0,501	0,672
Santa Luzia D'Oeste (RO)	78,95	99,21	0,482	0,67
Pimenteiras do Oeste (RO)	87,64	95,07	0,524	0,665
Presidente Médici (RO)	80,64	99,15	0,485	0,664
Castanheiras (RO)	78,71	97,44	0,498	0,658
Guajará-Mirim (RO)	90,15	97,71	0,573	0,657
Chupinguaia (RO)	67,53	92,11	0,479	0,652
Cabixi (RO)	80,31	96,36	0,488	0,65
Candeias do Jamari (RO)	86,32	95,28	0,478	0,649
São Felipe D'Oeste (RO)	76,06	99,33	0,466	0,649
Cacaúlândia (RO)	79,9	94,16	0,454	0,646
São Miguel do Guaporé (RO)	53,03	96,7	0,409	0,646
Alvorada D'Oeste (RO)	68,55	98,06	0,469	0,643
Mirante da Serra (RO)	71,79	96,59	0,47	0,643
Nova Brasilândia D'Oeste (RO)	63,19	94,95	0,459	0,643
Rio Crespo (RO)	73,12	96,42	0,441	0,643
Teixeirópolis (RO)	78,24	98,65	0,44	0,643
Alta Floresta D'Oeste (RO)	70,14	93,98	0,483	0,641
Primavera de Rondônia (RO)	78,92	96,79	0,439	0,641
Ministro Andreazza (RO)	74,79	97,85	0,467	0,638
Novo Horizonte do Oeste (RO)	77,02	98,86	0,442	0,634
Vale do Paraíso (RO)	66,2	98,1	0,438	0,627
Alto Paraíso (RO)	54,37	97,06	0,446	0,625
Parecis (RO)	36,46	86,86	0,412	0,617
Buritis (RO)	57,71	94,44	0,415	0,616
Itapuã do Oeste (RO)	72,86	97,72	0,478	0,614
Corumbiara (RO)	50,89	97,81	0,401	0,613
Cujubim (RO)	54,71	91,47	0,425	0,612
Costa Marques (RO)	75,64	90,13	0,486	0,611

São Francisco do Guaporé (RO)	54,53	93,27	0,434	0,611
Urupá (RO)	56,4	96,94	0,424	0,609
Monte Negro (RO)	72,77	95,85	0,435	0,607
Seringueiras (RO)	54,71	96	0,439	0,598
Governador Jorge Teixeira (RO)	46,32	94,34	0,38	0,596
Machadinho D'Oeste (RO)	57,63	88,1	0,449	0,596
Campo Novo de Rondônia (RO)	38,96	84,79	0,432	0,593
Alto Alegre dos Parecis (RO)	56,29	91,11	0,402	0,592
Theobroma (RO)	58,13	95,37	0,402	0,589
Nova Mamoré (RO)	61,02	91,43	0,446	0,587
Nova União (RO)	58,38	96,98	0,405	0,587
Vale do Anari (RO)	33,69	89,36	0,409	0,584

Fonte: Adaptado de PNUD (2021)