

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Cenário energético para atendimento aos Sistemas
Isolados de Cruzeiro do Sul - AC e Feijó - AC**

**Autor: Mateus Sousa Pinheiro
Orientador: Profa. Dra. Paula Meyer Soares
Coorientadora: Ma. Thelma Maria Melo Pinheiro**

**Brasília, DF
2022**



Mateus Sousa Pinheiro

Cenário energético para atendimento aos Sistemas Isolados de Cruzeiro do Sul - AC e Feijó - AC

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Meyer Soares

Coorientadora: Ma. Thelma Maria Melo Pinheiro

**Brasília, DF
2022**

Pinheiro, Mateus Sousa

Cenário energético para atendimento aos Sistemas Isolados de Cruzeiro do Sul - AC e Feijó - AC/Mateus Sousa Pinheiro. Brasília, UnB, 2022. 74 p.: il.; 29,5 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Meyer Soares

Coorientadora: Ma. Thelma Maria Melo Pinheiro

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA, 2022.

1. Cruzeiro do Sul. 2. Feijó. 3. Sistemas Isolados. 4. Biomassa. 5. Resíduo madeireiro. I. Meyer, Paula. II. Pinheiro, Thelma. III. Universidade de Brasília. IV. Faculdade UnB Gama. V. “Cenário energético para atendimento aos Sistemas Isolados de Cruzeiro do Sul - AC e Feijó - AC”.

CDU **Classificação**

Mateus Sousa Pinheiro

Cenário energético para atendimento aos Sistemas Isolados de Cruzeiro do Sul - AC e Feijó - AC

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Profa. Dra.: Paula Meyer Soares, UnB/ FGA
Orientadora

Ma. Thelma Maria Melo Pinheiro
Coorientadora

Prof. Dr.: Fernando Paiva Scardua, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr.: Celso Vila Nova de Souza Júnior, UnB/FUP
Membro Convidado

Brasília, DF
2022

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais que, durante todo o meu desenvolvimento como ser humano, proporcionaram-me total apoio em todas as esferas possíveis. Cada conquista é por eles e por meio deles.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, pelo dom da vida, pela saúde, por todo amor, além da força e resiliência necessárias diariamente para que eu consiga alcançar os meus objetivos, apesar das adversidades.

Aos meus pais, pela confiança depositada em mim, pelo apoio financeiro e emocional durante toda a minha vida, especialmente no decorrer da graduação. Esse apoio foi e continua sendo responsável por tornar mais simples a caminhada em busca do sucesso profissional e pessoal, além de me fazer reconhecer e valorizar privilégios infelizmente não acessíveis a todos.

À minha namorada, Ana, que com todo seu carinho me faz crescer como pessoa e me inspira por meio de sua dedicação, caminhando comigo sempre em busca de um objetivo comum.

Aos meus colegas de curso e amigos Fabrício, Rebeka, Normando e Gabrielle. A jornada na FGA não é fácil e tenho certeza de que sem o companheirismo de pessoas tão dedicadas o processo seria muito mais difícil. Sou grato por cada compartilhamento de conhecimento e de momentos de alegria.

À minha orientadora, professora Paula Meyer, por ter acreditado no projeto e sempre muito solícita ter me direcionado. À Thelma Pinheiro, minha coorientadora e grande amiga, por me apresentar ao tema e por todo o crescimento profissional durante meu período de experiência na ANEEL.

E aos meus amigos e familiares que constituem comigo relações sociais, por mim tão valorizadas. Agradeço aos que se fazem presentes no cotidiano e entendem minha ausência em certos momentos devido às exigências profissionais.

“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

A extensão territorial do solo brasileiro, somada às diversidades socioeconômicas do país, são desafios para o fornecimento de energia elétrica à população. O Sistema Interligado Nacional (SIN) permite o suprimento de eletricidade nas regiões conectadas, porém, existem ainda localidades que não participam dessa malha integrada, denominadas Sistemas Isolados. Estas localidades, presentes predominantemente na Região Norte, são abastecidas eletricamente por meio de geração local, dependendo majoritariamente de usinas termelétricas (UTE) a diesel. Esse tipo de combustível traz desvantagens, tais como o alto custo de geração e elevada emissão de gases poluentes. Tendo em vista a alta exploração de madeira no território nacional, principalmente na Região Norte, esse trabalho tem o objetivo de trazer uma alternativa de cenário energético para o abastecimento das localidades acreanas de Cruzeiro do Sul e Feijó, analisando a viabilidade econômica da implantação de usinas termelétricas que utilizam resíduo madeireiro como combustível.

A primeira etapa da metodologia visou definir as características elétricas de geração e consumo dos dois municípios acreanos, além dos impactos econômicos e ambientais advindos das fontes locais através de pesquisa documental de acordo com dados disponibilizados por órgãos do Setor Elétrico Brasileiro. Na segunda etapa, com o auxílio do levantamento bibliográfico, uma proposta de cenário energético foi apresentada a partir da concepção de usinas termelétricas a resíduo de madeira para abastecer tais municípios. Dessa forma, buscou-se definir o potencial energético da biomassa de resíduo madeireiro presente nas proximidades, os custos de transporte dessa biomassa, além dos custos de operação e manutenção das usinas. Assim, a viabilidade econômica dos empreendimentos foi analisada a partir dos cálculos de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *payback*.

Os resultados da pesquisa confirmaram o alto custo dos Sistemas Isolados nos aspectos econômicos e ambientais. Por sua vez, a proposta de alternativa energética deste trabalho trouxe diferentes análises de viabilidade econômica, de acordo com cada um dos três cenários propostos. Cada conjuntura considerou diferentes valores de atualização monetária e financiamentos realizados junto ao banco e foi comprovado nos três casos a viabilidade econômica do investimento.

Conclui-se então que os objetivos propostos pelo trabalho foram atingidos. A projeção do cenário energético para o atendimento das localidades de Cruzeiro do Sul e Feijó teve o propósito de tornar a discussão mais ampla, trazendo a participação de uma fonte renovável ainda pouco explorada diante da grande disponibilidade advinda da exploração madeireira no país. Aliar o desperdício de madeira à problemática de termelétricas caras e poluentes, diminuindo a dependência do diesel, é uma possibilidade de caminho para a geração local em Sistemas Isolados.

Palavras-chave: Cruzeiro do Sul. Feijó. Sistemas Isolados. Biomassa. Resíduo madeireiro.

Abstract

The Brazilian territorial extension added to the socioeconomic diversities of the country are challenges for the electricity supply to the population. The National Interconnected System (SIN) is responsible for supplying electricity in the connected regions. However, there are still locations that do not participate in this integrated network, called Isolated Systems. These locations, predominantly present in the Brazilian North Region, have their electricity supply by local generation, depending mostly on diesel thermoelectric plants. This type of fuel has disadvantages, such as the high generation cost and high emission of polluting gases. In view of the high logging practice in Brazil, mainly in the North Region, this work aims to bring an alternative energy scenario for the electricity supply to Cruzeiro do Sul and Feijo localities in Acre, analyzing the economic viability of implementing thermoelectric plants that use logging waste as fuel. The first step of the methodology aimed to define the characteristics of electricity generation and consumption in Cruzeiro do Sul and Feijo, in addition to the economic and environmental impacts arising from local source of electricity accordingly documentary researches provided by agencies of the Brazilian Electric Sector. The second step targeted to present a proposal for an energy scenario based on the design of thermoelectric plants that use logging waste as fuel to supply these two cities in Acre. In this way, attempts were made to define the energy potential of the logging waste present in the vicinity, the biomass transportation costs, in addition to O&M (operations and maintenance) costs. Thus, the economic viability of the projects was analyzed based on the calculations of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and payback.

The research results confirmed the high cost of Isolated Systems in economic and environmental aspects. On the other hand, the energy alternative proposal of this work brought different analyzes of economic viability, according to each of the three proposed scenarios. Each scenario considered different values of monetary restatement and financing carried out with the bank. The economic viability of the investment was proven in all three cases.

The conclusion therefore is that the objectives proposed by the work were achieved. The projection of an alternative and sustainable energy scenario for the Cruzeiro do Sul and Feijo localities was intended to broaden the discussion, bringing the participation of a renewable source still little explored in the face of the great availability arising from logging in the country. Combining wood waste with the problem of expensive and polluting thermoelectric plants, reducing dependence on diesel, is a possibility of a path to local generation in Isolated Systems.

Keywords: Cruzeiro do Sul. Feijo. Isolated Systems. Biomass. Logging waste.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Horizonte 2024 do Sistema Interligado Nacional	23
Figura 2 - Sistemas Isolados e a distribuição em cada estado em 2022.....	24
Figura 3 - Potência e CVU de termelétricas no SIN em fevereiro de 2018	26
Figura 4 - Localidades isoladas no Acre em 2022.....	29
Figura 5 - Planta de central termelétrica de geração a vapor.....	39
Figura 6 - Participação das fontes de geração de eletricidade em 2021	42

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Valores de carga das localidades atendidas pela Energisa Acre em 2021 e 2022	29
Tabela 2 - Sistemas Isolados do Acre e capacidades de geração em 2022	30
Tabela 3 - Alternativas de interligação propostas pela EPE e valores	36
Tabela 4 - Potência em MW das usinas a biomassa e a resíduo madeireiro no Brasil entre 2013 e 2020	44
Tabela 5 - Espécies e propriedades utilizadas da madeira de Manoel Urbano - AC.47	
Tabela 6 - Municípios e produção de madeira em tora entre agosto/2019 e julho/2020.....	50
Tabela 7 - Municípios e capacidade de geração em MW	51
Tabela 8 - Distribuição de biomassa para o município de Feijó	52
Tabela 9 - Distribuição de biomassa para o município de Cruzeiro do Sul	53
Tabela 10 - Distribuição semanal de biomassa para Cruzeiro do Sul	53
Tabela 11 - Dados para a idealização das UTE a resíduo de madeira de Cruzeiro do Sul e Feijó	56
Tabela 12 - Cenário 1 de investimento para as usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó ...	60
Tabela 13 - Cenário 2 de investimento para as usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó ...	60
Tabela 14 - Cenário 3 de investimento para as usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó ...	61

Lista de Quadros

Quadro 1 - Classificação dos biocombustíveis.....	41
---	----

Lista de Siglas

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CAPEX	<i>Capital expenditure</i>
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CCEE	Câmara Comercializadora de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CSSL	Contribuição Social sobre Lucro Líquido
CVU	Custo Variável Unitário
ENTSO-E	Rede Europeia de Operadores de Sistemas de Transmissão
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IMAC	Instituto de Meio Ambiente do Estado do Acre
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
LT	Linha de transmissão
MME	Ministério de Minas e Energia
NO	Óxidos de nitrogênio
O&M	Operação e manutenção
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OPEX	<i>Operational expenditure</i>
PBTC	Peso Bruto Total Combinado
PCH	Pequenas centrais hidrelétricas
PCI	Poder Calorífico Inferior

PDE	Plano Decenal de Energia
PEN SISOL	Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados
PIS	Programa de Integração Social
SIGA	Sistema de Informações de Geração da ANEEL
SIMEX	Sistema de Monitoramento de Exploração Madeireira
SIN	Sistema Interligado Nacional
SO	Óxidos de enxofre
TIR	Taxa Interna de Retorno
TLP	Taxa de Longo Prazo
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão
UBP	Uso de Bem Público
UTE	Usina termelétrica
VPL	Valor Presente Líquido

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivo geral.....	18
1.2	Objetivos específicos.....	19
1.3	Metodologia de pesquisa.....	19
2	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	22
2.1	Sistema Interligado Nacional (SIN) e Sistemas Isolados.....	22
2.2	Sistemas Isolados: aspectos econômicos e ambientais.....	25
2.3	Sistemas Isolados e o Acre.....	28
2.4	Cruzeiro do Sul e Feijó.....	30
2.4.1	Histórico das tentativas de interligação.....	31
3	EXPOSIÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA.....	33
3.1	Atributos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).....	33
3.2	O Critério N-1 de confiabilidade.....	34
3.3	A interligação de Cruzeiro do Sul e Feijó ao SIN proposta pela EPE.....	35
4	TERMELÉTRICAS E A BIOMASSA RESIDUAL DE MADEIRA.....	39
4.1	Usinas termelétricas.....	39
4.2	Biomassa: definições e participação na matriz elétrica.....	40
4.3	Biomassa de resíduo madeireiro e sua utilização na geração de energia.....	43
5	PROPOSTA DE CENÁRIO ENERGÉTICO: USINAS TERMELÉTRICAS DE CRUZEIRO DO SUL E FEIJÓ UTILIZANDO RESÍDUO MADEIREIRO.....	47
5.1	Levantamento de dados acerca da biomassa de resíduo madeireiro.....	47
5.2	Levantamento de custos das usinas termelétricas.....	52
5.2.1	Custos de transporte da biomassa.....	52
5.2.2	Custos estimados para as usinas termelétricas de Feijó e Cruzeiro do Sul.....	54
5.3	Análise de viabilidade econômica.....	57
5.3.1	Cenário 1.....	59

5.3.2	Cenário 2	60
5.3.3	Cenário 3	61
6	CONCLUSÕES.....	63
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	65
	Referências	67

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de energia elétrica à população brasileira de forma equânime, sustentável e com tarifas módicas é um desafio constante, tendo em vista a extensão territorial do solo brasileiro, em moldes continentais, a diversidade hidrológica do país e as disparidades socioeconômicas espalhadas pelas cinco regiões que compõem o Brasil.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é definido como o conjunto de instalações e equipamentos que permitem o suprimento de eletricidade nas regiões do país interligadas eletricamente (ANEEL, 2022). Tendo em vista a predominância hidrelétrica na matriz energética brasileira, o SIN permite a exploração da diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias responsáveis pela geração de energia.

As linhas de transmissão que compõem o SIN integram localidades que estão em períodos de chuva aos locais em estações de estiagem, além de escoar quantidades de energia advindas de outras fontes, tais como eólica, solar e biomassa, possibilitando a transferência de energia entre os subsistemas. Porém, algumas localidades dependem de fontes de geração local por não possuírem sistema de fornecimento de energia elétrica interligado ao SIN. Essas localidades são abastecidas pelos Sistemas Isolados.

Grande parte das localidades brasileiras dependentes de Sistemas Isolados se encontra na Região Norte, caracterizada pela vegetação densa, rios caudalosos e enormes territórios, dificultando assim a implantação de linhas de transmissão. Além disso, os impactos ambientais de possíveis empreendimentos aumentam a problemática envolvida.

As localidades isoladas, em quase sua totalidade, dependem da geração termelétrica a diesel. Para arcar com os custos elevados dessa fonte, alguns encargos setoriais foram criados, tais como a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC). A CCC é um encargo pago por todos os consumidores cativos de energia elétrica no país, subsidiando os custos de geração dos Sistemas Isolados.

Além disso, as desvantagens para o meio ambiente advindas das centrais termelétricas a diesel trazem mais uma reflexão acerca dessa fonte energética. A emissão de poluentes como o monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂), além do descarte do óleo lubrificante e o manuseio do diesel, muitas vezes de forma inadequada, pode ser extremamente prejudicial.

Esse é o caso dos municípios de Cruzeiro do Sul e Feijó, no Acre. Ainda não interligadas ao SIN, essas localidades possuem grande importância para o estado acreano e, tendo isso em mente, tentativas de interligação são realizadas desde 2012. Após a ocorrência de problemas que culminaram na caducidade do primeiro contrato de concessão outorgado à empresa responsável pelas obras de interligação, outro leilão foi realizado em 2019 e a previsão de finalização das obras é datada para 2025. Até então a única cidade do Acre participante do SIN é a capital Rio Branco.

Assim, existe um histórico de tentativas para interligar essas regiões, já que a permanência dessas localidades fora do SIN traz impactos financeiros e ambientais que atingem não só a população local, mas todos os consumidores de energia elétrica de maneira direta e indireta.

Para subsidiar o processo de interligação desses municípios, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), com o auxílio do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), publicou estudos com cenários que envolvem conceitos de confiabilidade e custo-benefício. Para cada cenário proposto pela EPE, um levantamento de custos foi realizado. O ONS determina um critério de confiabilidade que, apesar de deixar o sistema mais robusto, exige maiores investimentos. Por outro lado, a EPE aponta que a melhor alternativa depende da flexibilização desse critério.

Paralelamente, a exploração madeireira no país segue alcançando recordes. O desmatamento acelerado da Amazônia soma-se com o baixo aproveitamento da madeira na indústria, gerando elevadas quantidades de resíduo que não possuem destino adequado. O resíduo madeireiro pode ser utilizado como biomassa para queima em usinas termelétricas dos municípios estudados, aliando a necessidade de reutilizar esse lixo gerado e de pensar em uma fonte energética mais limpa e econômica para a região.

1.1 Objetivo geral

Nessa conjuntura, o objetivo geral deste trabalho é propor e avaliar um cenário energético para o fornecimento de energia elétrica aos municípios acreanos de Cruzeiro do Sul e Feijó.

Esse cenário é baseado na idealização de usinas termelétricas que utilizem biomassa advinda de resíduos madeireiros como fonte. Assim, é possível tornar a discussão ampla e energética, expandindo-a para além de aspectos elétricos.

1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, deseja-se descrever os principais aspectos dos Sistemas Isolados, com foco nos municípios acreanos de Cruzeiro do Sul e Feijó; apontar as consequências ambientais e econômicas do uso de termelétricas a diesel como fonte de geração local nos Sistemas Isolados; entender a problemática que envolve as questões de custo-benefício e confiabilidade na interligação desses municípios ao SIN; verificar a capacidade de geração de energia elétrica das espécies de madeira da região de acordo com o poder calorífico; além de analisar a viabilidade econômica do cenário energético proposto de acordo com os parâmetros financeiros utilizados.

1.3 Metodologia de pesquisa

No âmbito de sua natureza, a pesquisa desenvolvida para a elaboração deste trabalho foi definida como aplicada. A pesquisa aplicada tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, solucionando problemas específicos, envolvendo interesses locais (PROVDANOV; FREITAS, 2013). Nesse caso, trazer uma alternativa de solução para o fornecimento de energia elétrica nos municípios de Cruzeiro do Sul e Feijó é um exemplo de pesquisa aplicada.

Com relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva. Essa forma de busca não tem compromisso de explicar fenômenos que descreve, apesar que estes fenômenos servem de base para tal explicação. Como forma de exemplo, esse tipo demonstra características de uma determinada população ou ocorrência (VERGARA, 2016).

Um dos objetivos primordiais de uma pesquisa descritiva é o estabelecimento de relações entre variáveis, de acordo com Gil (2002). Esse objetivo foi constantemente utilizado na construção de ideias durante o desenvolvimento da pesquisa. A busca de relações entre os aspectos econômicos e carga elétrica, entre os custos de geração de energia elétrica e a fonte de energia utilizada, entre os combustíveis utilizados e os aspectos ambientais são apenas alguns exemplos. Todas as leituras objetivaram estabelecer uma descrição da situação elétrica dos municípios acreanos em questão.

O procedimento utilizado na pesquisa possui duas classificações: bibliográfico e documental. A pesquisa bibliográfica tem como característica principal o desenvolvimento baseado em material já elaborado, como por exemplo livros e artigos científicos. Por outro lado, a pesquisa documental é semelhante à pesquisa bibliográfica, diferindo apenas na natureza das fontes. Enquanto a pesquisa bibliográfica se baseia em autores sobre o assunto, as fontes da pesquisa documental não recebem um tratamento analítico, sendo exemplos as cartas, memorandos, ofícios, entre outros (GIL, 2002).

A pesquisa bibliográfica foi de extrema importância para o desenvolvimento textual da pesquisa. Referências bibliográficas baseadas em artigos científicos e livros trouxeram informações importantes acerca das fontes energéticas utilizadas nas regiões de estudo, dos prejuízos e benefícios com relação aos custos e aspectos socioambientais dessas fontes e das condições socioeconômicas dos locais abordados. Além disso, a elaboração da alternativa sustentável de geração local só foi possível através do levantamento bibliográfico realizado.

Já a pesquisa documental foi realizada baseando-se em leis, decretos e outros documentos disponíveis em endereços eletrônicos de órgãos governamentais. Dados referentes aos leilões de geração de energia elétrica, além de estatísticas no âmbito da geração foram obtidos no formato de pesquisa documental em sites como o da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Além disso, o site da Agência foi responsável também por detalhar os custos advindos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e a respectiva participação da CCC. Por meio de consulta processual no site da ANEEL também foi construída a compreensão do processo interrompido de interligação ao SIN das subestações analisadas, sendo essencial para descrição do histórico de tentativas de integrar os municípios acreanos.

Números relativos aos Sistemas Isolados e à respectiva presença desses sistemas no estado do Acre, além de custos advindos da geração, foram encontrados em estudos publicados pela EPE. O site da EPE também auxiliou na compreensão do processo de interligação das subestações analisadas ao SIN, além de apontar também valores acerca da emissão de poluentes advindas da geração local.

Toda essa pesquisa soma-se ainda aos valores de carga atuais das cidades analisadas e das respectivas previsões, encontrados nos documentos relativos aos

planejamentos das regiões isoladas e publicados pelo ONS. Informações acerca da utilização da biomassa também foram referenciadas do Plano Decenal de Energia (PDE), publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e EPE.

É evidente então a grande participação da pesquisa documental realizada, sendo ela grande responsável pela obtenção de dados de análise.

Por fim, a classificação da abordagem desses dados no trabalho se dá como qualitativa. De acordo com Vergara (2016), esse tipo de abordagem não implica testagem, apenas a confirmação, ou não, utilizando meios não estatísticos. Apesar das bases se mostrarem, em sua maioria, no formato estatístico de tabelas e gráficos, a análise dessas informações se deu de maneira subjetiva, com uma observação crítica.

Entre as metas de investigação de uma pesquisa qualitativa, destacam-se o entendimento, a descrição, a descoberta e a hipótese (PROVDANOV; FREITAS, 2013). Tais tópicos foram desenvolvidos no trabalho desde a descrição e entendimento das características dos Sistemas Isolados e das localidades de Cruzeiro do Sul e Feijó até a hipótese da geração local dependente da biomassa de resíduo madeireiro.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 Sistema Interligado Nacional (SIN) e Sistemas Isolados

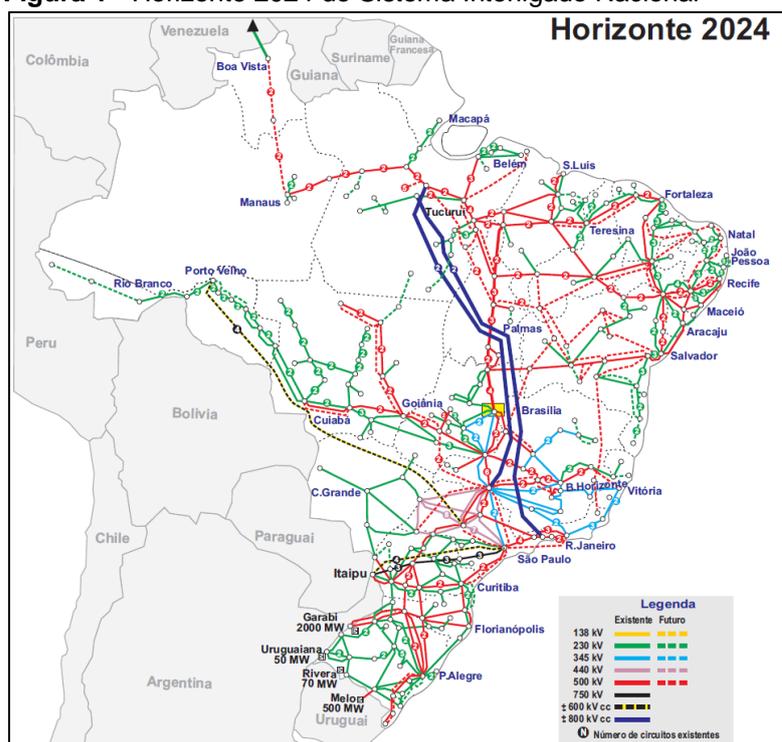
A extensão territorial continental do solo brasileiro e a diversidade hidrológica do país são desafios para o contínuo fornecimento de energia elétrica à população.

O sistema de geração de energia elétrica no Brasil é de característica hidro-termo-eólica, porém, predominantemente hidrelétrico. A capacidade instalada de geração advém principalmente de usinas hidrelétricas dispersas em dezesseis bacias hidrográficas em diversas localidades do país. Essas usinas são despachadas de acordo com as condições hidrológicas do momento, possibilitando a gestão dos estoques de água nos reservatórios e assegurando o atendimento futuro (ONS, 2022b).

Sendo assim, foi necessário desenvolver um extenso sistema de transmissão capaz de interligar as regiões brasileiras, permitindo aproveitar os benefícios da diversidade de regime dos rios em diferentes bacias hidrográficas no país. Nesse sentido, o Sistema Interligado Nacional (SIN) é definido como o conjunto de instalações e equipamentos que permitem o suprimento de eletricidade nas regiões do país interligadas eletricamente (ANEEL, 2022).

De acordo com o que é citado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2022b), a malha de transmissão que interconecta os sistemas elétricos permite a transferência de energia entre os subsistemas e o suprimento do mercado consumidor. Essa malha que compõe o SIN é formada por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. A Figura 1 apresenta a disposição do sistema.

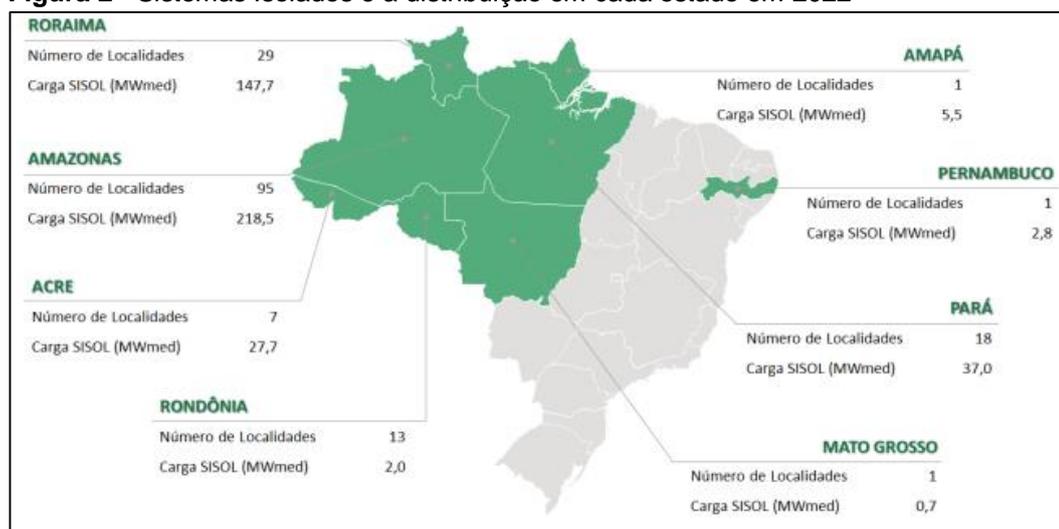
Figura 1 - Horizonte 2024 do Sistema Interligado Nacional



Fonte: Modificado de ONS (2022a)

O SIN permite a exploração da diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias responsáveis pela geração de energia. Os mais de 145.000 km de linhas de transmissão integram localidades que estão em períodos de chuva aos locais em estações de estiagem, possibilitando a transferência de energia entre os subsistemas (ONS, 2022b). Porém, alguns territórios não fazem parte dessa malha integrada, sendo assim atendidos por geração local. Estes são denominados Sistemas Isolados.

Os Sistemas Isolados podem ser definidos como sistemas de produção e transmissão de energia elétrica não conectados ao SIN por razões técnicas ou econômicas (BRASIL, 2010). O ONS (2022c) aponta que, entre os 165 Sistemas Isolados no Brasil, a maior parte encontra-se na região Norte, principalmente no estado do Amazonas, com 95 deles. A Figura 2 mostra a disposição desses sistemas no mapa.

Figura 2 - Sistemas Isolados e a distribuição em cada estado em 2022

Fonte: Modificado de ONS (2022d, p.6)

Os Sistemas Isolados são abastecidos por termelétricas movidas a biomassa, gás natural e pela fonte hidráulica, em sua minoria. Porém, a predominância de abastecimento é de usinas termelétricas movidas a óleo diesel (ONS, 2022d). Devido a maior parte das localidades ser encontrada ao longo dos canais dos rios, principal via de transporte da Região Norte, o suprimento de energia elétrica depende da logística complexa do fornecimento desse combustível. Por conta da predominância térmica desses sistemas, os custos de geração são superiores ao SIN (EPE, 2022).

Os dados do Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados (PEN SISOL) 2022 apontam parque gerador com 1.193 MW de potência efetiva em operação. Como citado anteriormente, a maior parte da geração de energia nos Sistemas Isolados advém de termelétricas a óleo diesel ou óleo combustível, representando 80,5% do total previsto. Há ainda a presença da geração térmica a gás natural, com 14,4%; biomassa, com 4,6% e geração hidráulica, com 0,4% do total (ONS, 2022d).

Importante verificar a diminuição da participação de termelétricas a óleo diesel ou óleo combustível entre os anos de 2021 e 2022, de 94% para 80% e o crescimento do uso de biomassa, de 1% para 4%.

Baseado nos dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2022), a população abastecida por Sistemas Isolados é pouco menor do que 3 milhões de pessoas. Há desde pequenas comunidades, com população de 15 habitantes, como é o caso de Maici - RO, até cidades maiores como Boa Vista - RR, com 436.000 habitantes. Com relação à carga, dados do ONS (2022d) demonstram que a carga

total dos Sistemas Isolados representará em 2022, com 442 MWmed, cerca de 0,6% da carga total do país.

Além disso, o ONS (2022c) afirma que a dimensão e composição destes sistemas são variadas. Existem tanto sistemas de pequeno porte, com geração em torno de 5 kW, como o caso de comunidades indígenas, até outros de porte mais elevado, como o caso de Boa Vista - RR, com capacidade de geração de 275.776 kW advinda de seu parque gerador térmico a óleo diesel.

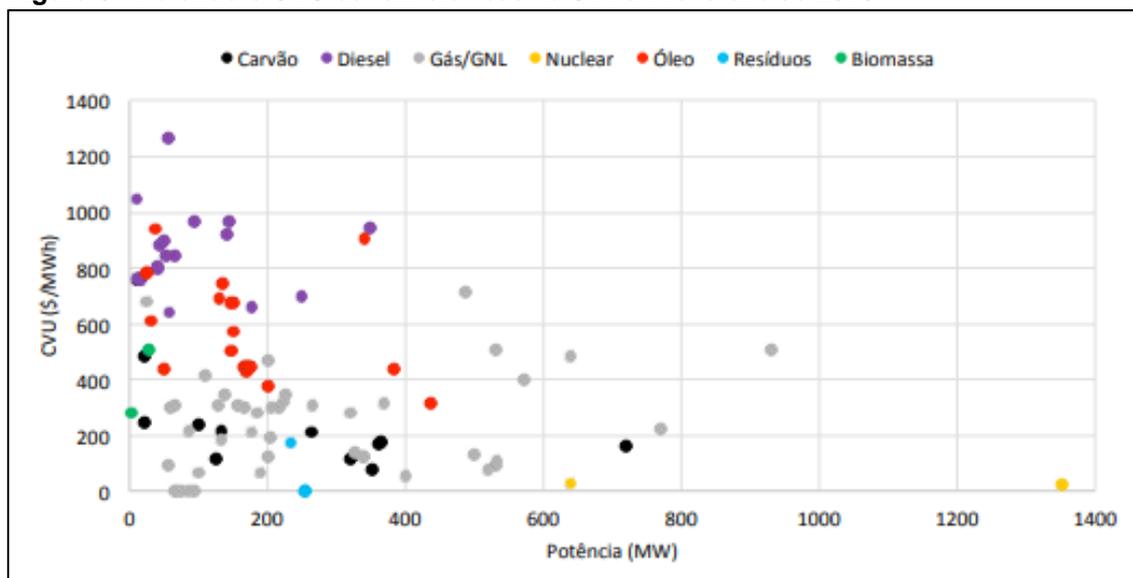
2.2 Sistemas Isolados: aspectos econômicos e ambientais

Apesar de alguns exemplos de outras fontes de geração, tais como pequenas centrais hidrelétricas (PCH) ou termelétricas a gás natural, a predominância de termelétricas a diesel que abastecem os Sistemas Isolados traz impactos negativos nos âmbitos econômicos e ambientais.

Pires da Ponte (2019) cita que as usinas termelétricas a diesel possuem instalação mais rápida e econômica quando comparadas às outras tecnologias. Com a presença de fabricantes no Brasil, há manutenção, disponibilidade de peças e mão de obra qualificada na Região Norte para trabalhar com esse tipo de fonte. Apesar de acompanhar positivamente a demanda instantânea, há situações de perda de eficiência ou desperdício de energia.

Tendo em vista que o diesel não é produzido na região em que é utilizado, a logística de abastecimento e armazenamento desse combustível é um fator de alta complexidade. Utiliza-se em alguns momentos os modais fluvial e rodoviário para seu transporte e a dependência das condições climáticas de cheias e secas dos rios pode trazer a necessidade de armazenamento de diesel por longos períodos (EPE, 2022).

Além da problemática do combustível utilizado, as termelétricas a diesel possuem Custo Variável Unitário (CVU) muito alto, de acordo com o que apontam Sampaio e Pereira (2018). Em pesquisa realizada pelos autores, as termelétricas consideradas pelo modelo de planejamento *Newave* para definição do despacho em fevereiro de 2018 apontaram um alto CVU para baixos valores de potência, assim como ilustra a Figura 3. Por outro lado, a mesma figura aponta a biomassa com valores menores.

Figura 3 - Potência e CVU de termelétricas no SIN em fevereiro de 2018

Fonte: Modificado de Sampaio e Pereira (2018, p.7)

A característica cíclica das usinas termelétricas eleva os custos variáveis por conta do stress térmico provocado em seus componentes. Essa situação pode resultar em desgaste mecânico, danos e, conseqüentemente, aumentar custos de manutenção, além de diminuir a eficiência (RIBEIRO, 2019).

O alto custo dessa fonte de geração traz impactos financeiros que atingem não só os consumidores locais, o que se torna perceptível ao analisar a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE).

A CDE é um fundo setorial que visa custear políticas públicas do setor elétrico, tais como universalização do serviço de energia elétrica em todo o território, descontos tarifários a usuários de baixa renda, geração e consumo de energia de fontes incentivadas, entre outros (CCEE, 2022).

Os recursos da CDE são arrecadados principalmente por meio das quotas anuais pagas pelos agentes que comercializam eletricidade com o consumidor final, mediante encargo tarifário incluído na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) e Transmissão (TUST), além dos pagamentos realizados pelos concessionários e autorizados a título de Uso de Bem Público (UBP), das multas aplicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da transferência de recursos da União (CCEE, 2022).

De acordo com o Ministério da Economia, a ANEEL calcula anualmente os recursos suplementares necessários para cobrir as despesas da CDE, denominadas de quotas da CDE - Uso. Esse valor deve ser pago pelos agentes que atendem

consumidores cativos e livres e é repassado na fatura de energia elétrica como encargo setorial (MME, 2019). De acordo com os dados presentes no relatório da Conta de Desenvolvimento Energético, da ANEEL (2021), a maior fonte de receita da CDE advém das quotas da CDE - Uso.

Apesar de financiar outras políticas públicas, a principal parcela custeada pela CDE visa a modicidade tarifária em Sistemas Isolados, denominada de Conta de Consumo de Combustíveis (CCC). A CCC é um encargo do setor elétrico usado para cobrir a diferença entre o custo de geração nos Sistemas Isolados e o custo médio da energia no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) do SIN. Essa conta foi criada pela Lei nº 5.899/1973 e tinha como objetivo o rateio dos custos com combustíveis utilizados no SIN, porém, desde 1992 a CCC é utilizada para cobrir os custos de combustíveis apenas dos Sistemas Isolados (EPE, 2021a)

Para o ano de 2022, o consumidor vai pagar R\$ 30,2 bilhões para financiar os subsídios da CDE por meio das contas de luz. Esse valor representa uma alta de 54,8% com relação a 2021, representando um impacto de 4,65% nas tarifas das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, enquanto no Nordeste esse impacto atinge 2,41% (FOLHA DE S. PAULO, 2022).

Desse valor destinado à CDE, R\$ 11,9 bilhões serão destinados apenas à compra de combustíveis para a geração elétrica dos Sistemas Isolados (FOLHA DE S. PAULO, 2022). Ou seja, a maior parcela da CDE é destinada à CCC, representando pouco mais de 39% dos gastos. A EPE (2021a) já esperava um aumento da CCC de quase 20% quando comparado com o orçamento de 2021.

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2030 traz como exemplo a situação dos municípios acreanos de Cruzeiro do Sul e Feijó, atendidas atualmente por usinas termelétricas com CVU cima de 1.000 R\$/MWh. Isso implica em gastos anuais de aproximadamente R\$ 350 milhões para o suprimento local (MME; EPE, 2021).

Acerca da questão ambiental, Reis (2017) cita que a geração de eletricidade por meio de centrais termelétricas é a segunda maior produtora dos gases-estufa no mundo, perdendo apenas para o setor de transportes. Além de efluentes aéreos, com maior potencial poluidor, as usinas termelétricas lançam no ambiente efluentes líquidos e sólidos.

Entre os efluentes aéreos, o autor destaca o dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO), material particulado, óxidos de nitrogênio (NO), além de monóxido

de carbono (CO) e outros hidrocarbonetos. Em excesso na atmosfera, o CO₂ torna-se o principal causador do efeito estufa, responsável pelo aquecimento global do planeta. O SO₂, por sua vez, se oxida na atmosfera e dá origem a sulfatos e ácido sulfúrico. As emissões sulfurosas de usinas que utilizam combustíveis derivados de petróleo são maiores, sendo responsáveis também por problemas respiratórios da população (REIS, 2017).

Além disso, o material particulado, que são cinzas formadas no processo de combustão ou presentes no combustível e arrastadas pelo fluxo de gases pela chaminé das termelétricas, são lançadas na atmosfera, depositadas em plantas e vegetais, além de afetar o sistema respiratório de pessoas e animais (REIS, 2017).

Efluentes líquidos também podem se tornar presentes no processo, como os advindos de possíveis vazamentos de tanques de combustíveis, falhas de válvulas e/ou rompimentos de selos de bombas (REIS, 2017). Pires da Ponte (2019) lembra da forma do suprimento de diesel na região, por meio de rios e estradas, em que acidentes nos transportes podem vir a ocorrer, provocando vazamento de combustível que contamina rios e florestas.

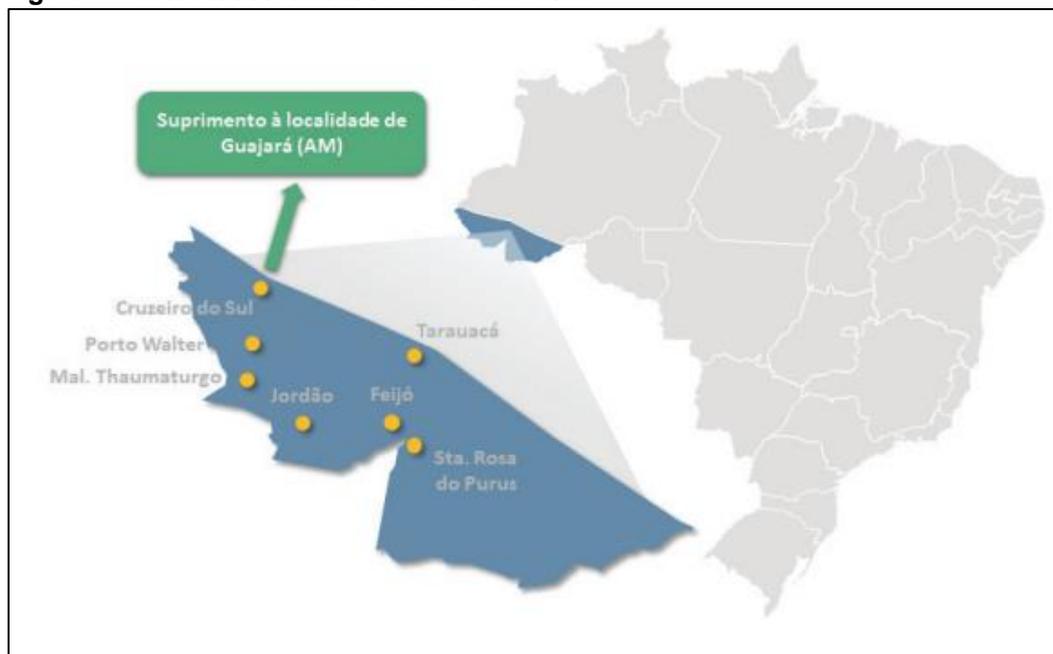
O Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados estimou para o ano de 2023 emissão de cerca de 2,018 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ decorrentes da geração de energia para abastecer as localidades isoladas. Desse valor, quase 80% são referentes ao uso do diesel como combustível (EPE, 2022).

Logo, o cenário atual exige um planejamento para introduzir soluções de suprimento que possam reduzir o consumo de diesel, as emissões e também o custo de geração nessas localidades.

2.3 Sistemas Isolados e o Acre

O estado acreano é integrado ao SIN pela subestação Rio Branco, que recebe dois circuitos em 230 kV da subestação Abunã - RO. Possuindo 304 km de extensão, os circuitos atendem as cargas de Rio Branco e localidades próximas. Outras regiões, porém, são ainda isoladas (EPE, 2019).

A Energisa Acre é a distribuidora responsável pelo atendimento às sete localidades isoladas do estado: Cruzeiro do Sul, Porto Walter, Feijó, Santa Rosa do Purus, Jordão, Tarauacá e Marechal Thaumaturgo (ONS, 2022c). A Figura 4 ilustra os Sistemas Isolados no Acre.

Figura 4 - Localidades isoladas no Acre em 2022

Fonte: Modificado de ONS (2022d, p.12)

O mercado consumidor dos sistemas isolados da Energisa Acre é predominantemente residencial, com 48% de participação no consumo total, sendo seguido pelo setor comercial, com 21% (ONS, 2022c).

O PEN SISOL 2022 aponta que para o ano de 2021 a estimativa de carga para a Energisa Acre foi de 242.886 MWh. Já para o ano de 2022, o ONS projeta uma carga de 242.855 MWh, uma variação de 0% (ONS, 2022c). A Tabela 1 detalha a carga no estado acreano durante esses dois anos.

Tabela 1 - Valores de carga das localidades atendidas pela Energisa Acre em 2021 e 2022

Localidade	Carga total em 2021 (MWh)	Carga total em 2022 (MWh)	Crescimento
Cruzeiro do Sul	160.506	169.719	5,14%
Feijó	22.718	23.659	4,14%
Jordão	2.878	3.052	6,06%
Marechal Thaumaturgo	6.866	7.277	5,98%
Porto Walter	5.623	5.946	5,74%
Santa Rosa do Purus	2.372	2.501	5,46%
Tarauacá	29.324	30.702	4,70%

Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de (ONS, 2022c)

Os dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA) revelam que praticamente todas as localidades isoladas do estado do Acre possuem sua geração baseada em usinas termelétricas a diesel, com exceção de Marechal Thaumaturgo, com uma usina solar fotovoltaica de 715 kW. A Tabela 2 demonstra os Sistemas Isolados acreanos e suas respectivas potências instaladas.

Tabela 2 - Sistemas Isolados do Acre e capacidades de geração em 2022

Localidade	Tipo	Combustível	Potência outorgada (kW)
Assis Brasil	UTE	Diesel	2.200
Cruzeiro do Sul	UTE	Diesel	34.000
Feijó	UTE	Diesel	6.250
Jordão	UTE	Diesel	2.044
Manoel Urbano	UTE	Diesel	2.220
Marechal Thaumaturgo	UTE	Diesel e solar	4.470
Porto Walter	UTE	Diesel	3.692
Santa Rosa do Purus	UTE	Diesel	2.055
Tarauacá	UTE	Diesel	8.090

Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de (ANEEL, 2021a)

Diante dos dados apresentados, além de reafirmar a predominância da geração termelétrica a diesel nos Sistemas Isolados, é possível perceber que há uma expansão do mercado elétrico no estado do Acre. Atenção especial deve ser dada para dois municípios: Cruzeiro do Sul e Feijó. O primeiro é, disparado, a localidade de maior carga exigida do sistema e, conseqüentemente, possui a maior potência instalada em sua usina térmica a óleo diesel para abastecer a região. Feijó, por sua vez, também possui números expressivos quando comparados com outras localidades isoladas acreanas, atrás apenas de Tarauacá e do município cruzeirense.

2.4 Cruzeiro do Sul e Feijó

Com área territorial de 8.783,470 km², o município de Cruzeiro do Sul possui população de 89.760 pessoas, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística (IBGE, 2021). A localidade é a segunda maior do estado acreano em termos populacionais e econômicos, ficando atrás apenas da capital Rio Branco. Conseqüentemente, também é a segunda maior consumidora de energia elétrica do estado. Além disso, o município possui uma das maiores taxas de urbanização do Acre (ACRE, 2017).

Feijó, por sua vez, tem uma população de 34.986 pessoas distribuída em uma área territorial de 27.976,874 km² (IBGE, 2021). O município possui a maior área do estado do Acre, representando 17% do espaço. Também é um dos mais populosos, apesar de uma taxa de urbanização menor quando comparada com Cruzeiro do Sul (ACRE, 2017).

De maneira geral, o estado do Acre tem sua atividade econômica com maior número de postos de trabalho na administração pública, seguida do setor de serviços e comércio. De forma semelhante, Cruzeiro do Sul e Feijó também possuem a administração pública como atividade predominante.

O estado acreano também se destaca na exploração de madeira em tora e produção de lenha. Porém, o processo de urbanização do estado vem se destacando. Mesmo com uma menor porcentagem quando comparada aos outros estados brasileiros, a população urbana vem crescendo em ritmo mais acelerado quando comparada à rural, o que ocorre também nos municípios cruzeirense e de Feijó (ACRE, 2017).

2.4.1 Histórico das tentativas de interligação

De acordo com a EPE (2019), a integração do estado do Acre ao SIN foi iniciada em 2002 por meio de circuito simples da linha de transmissão de 230 kV, interligando as cidades de Porto Velho - RO, Abunã - RO e Rio Branco - AC.

Reconhecendo a importância econômica de Cruzeiro do Sul para o estado acreano e os benefícios de uma interligação, em 2011 a EPE publicou o relatório EPE-DEE-RE-116/2011, no qual recomendava a integração desta localidade isolada ao SIN. A alternativa escolhida no relatório indicava um circuito simples em 230 kV que saía da subestação Rio Branco até a nova subestação Cruzeiro do Sul, passando pela subestação intermediária de Feijó. A subestação Feijó também seria responsável pelo atendimento de cargas isoladas da distribuidora local (EPE, 2019).

Na tentativa de iniciar as obras para interligação, em 2012 dois leilões foram organizados pela ANEEL e pela Câmara Comercializadora de Energia Elétrica (CCEE). Até o encerramento de cada leilão, nenhuma empresa se interessou pelo lote, não havendo assim proponentes e expectativas para investimentos no empreendimento (ANEEL, 2018).

No ano seguinte, 2013, outro leilão ocorreu e uma empresa sagrou-se vencedora. Porém, ao longo do período do contrato, a empresa apresentou dificuldades com a continuidade do projeto por conta de problemas com o licenciamento ambiental, tendo em vista o traçado da linha de transmissão escolhido pela empresa, que passava por dentro de terras indígenas (ANEEL, 2018).

A ANEEL então exigiu da empresa um estudo de viabilidade econômico-financeira do projeto; a elaboração de um Plano de Recuperação do cronograma de execução dos empreendimentos, engenharia financeira, indicadores a serem monitorados e ações a serem implantadas; além da retomada das obras. Por sua vez, a empresa não apresentou o Plano de Recuperação do cronograma do empreendimento e nem o cronograma físico-financeiro (ANEEL, 2018).

Finalmente, por meio da Portaria nº 500, de 17 de dezembro de 2018, o Ministério de Minas e Energia (MME) declarou caducidade do Contrato de Concessão do Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica outorgado à empresa (BRASIL, 2018).

Mesmo após a caducidade do contrato, as pesquisas da EPE presentes no relatório “Estudos para Expansão da Transmissão: Integração de Cruzeiro do Sul e Feijó ao Sistema Interligado Nacional” reforçaram “a necessidade de conexão das cargas isoladas de Cruzeiro do Sul e Feijó ao SIN o mais cedo possível, através da conexão na Subestação de Rio Branco” (EPE, 2019, p. 14).

Assim, novo certame foi realizado em 19 de dezembro de 2019. O Leilão 02/2019 possuía em seu Lote 11 cerca de 672 km de linhas de transmissão e 140 MVA de potência de subestações com a função de interligar as regiões de Cruzeiro do Sul e Feijó ao SIN. Os empreendimentos foram arrematados pelo Consórcio Norte, composto pelas empresas Zopone Engenharia e Comércio Ltda e Sollo Participações S.A., com data para entrada em operação comercial prevista para 20 de março de 2025 (BRASIL, 2019).

3 EXPOSIÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

3.1 Atributos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Com o objetivo de melhor compreender o debate acerca da interligação dos municípios de Cruzeiro do Sul e Feijó ao Sistema Interligado Nacional (SIN), é essencial entender as funções da EPE e do ONS no planejamento e expansão do sistema elétrico no Brasil.

A EPE é uma empresa pública criada por meio do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, com a finalidade de realizar estudos que objetivam auxiliar o planejamento energético e eficiência energética nos âmbitos de todas as fontes (GANIM, 2019).

O art. 4º da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, traz atribuições à EPE, nas quais se destacam a elaboração de estudos para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica nos horizontes de curto, médio e longo prazos, além de estudos de impacto social, viabilidade técnico-econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica. No âmbito dos Sistemas Isolados, compete à EPE fornecer informações relacionadas aos leilões e diversos estudos sobre essas regiões, tais como análises referentes à interligação desses sistemas ao SIN (BRASIL, 2004).

Por sua vez, o ONS é uma personalidade jurídica de direito privado responsável pelo controle da operação da geração e transmissão de eletricidade no SIN, além dos Sistemas Isolados, criado por meio da Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. São atributos do ONS: a contratação e administração de serviços de transmissão e suas condições de acesso, além da proposição de regras para a operação das instalações de transmissão do SIN (BRASIL, 1998).

Acerca dos Sistemas Isolados, o ONS tem o objetivo de apresentar as condições de atendimento desses sistemas, subsidiar a EPE nos estudos de planejamento e expansão, e apoiar a Câmara Comercializadora de Energia Elétrica (CCEE) nas estimativas de consumo de combustível e montantes de energia a serem supridos por contratos (ONS, 2022c).

O ONS cita que a confiabilidade dos sistemas elétricos e o correto atendimento do mercado de energia dependem diretamente da eficiência de sua

expansão. Para tal, um planejamento adequado é estritamente necessário. O planejamento da expansão dos sistemas de geração e transmissão analisa a demanda e seu respectivo crescimento e auxilia a definição do conjunto de obras que serão necessárias para garantir a segurança e a qualidade do sistema, objetivando o menor custo global, mas contemplando também as perdas elétricas (ONS, 2022).

Os estudos que auxiliam a expansão dos sistemas de transmissão, assim como a interligação de localidades isoladas ao SIN, destacam aspectos relacionados ao fornecimento seguro de energia elétrica e aos custos financeiros aceitáveis. A discussão trazida por EPE e ONS acerca dos custos e da confiabilidade é o tema central para os casos de Cruzeiro do Sul e Feijó.

3.2 O Critério N-1 de confiabilidade

Todo sistema elétrico está sujeito a interrupções do suprimento. A construção de um sistema totalmente imune a falhas exigiria investimentos altos para garantir a redundância de equipamentos e circuitos, o que possivelmente não seria aceito pela sociedade, tendo em vista o objetivo de modicidade das tarifas de energia elétrica (ONS, 2022e).

Dessa forma, no Brasil e em outros países, os sistemas elétricos seguem o critério N-1 de confiabilidade. De acordo com o Glossário dos Procedimentos de Rede do ONS, confiabilidade pode ser definida como a “probabilidade de um sistema ou componente realizar suas funções previstas de forma contínua, adequada e segura, por um período de tempo preestabelecido, sob condições operativas predefinidas” (ONS, 2020, p. 16). O mesmo glossário define o critério N-1 como “critério determinístico pelo qual o sistema deve ser capaz de suportar qualquer contingência simples, ou seja, a perda de qualquer um de seus elementos sem corte de carga” (ONS, 2020, p. 20).

Portanto, no caso da ocorrência de uma contingência simples, o sistema deve ser capaz de continuar a operação sem interromper o fornecimento de energia, perder a estabilidade, violar padrões de grandezas elétricas tais como frequência e tensão e nem atingir limites de sobrecarga de equipamentos e instalações (ONS, 2022e).

De acordo com o Operador, o critério N-1 é adotado de forma geral na operação do SIN. Apenas para alguns pontos mais específicos, tais como os principais troncos de transmissão, critérios de confiabilidade mais restritivos são adotados,

exigindo a resiliência do sistema no caso da perda de dois ou mais componentes. O que justifica tal adoção é a comparação entre o investimento em confiabilidade e o impacto socioeconômico causado por uma possível falha múltipla no suprimento (ONS, 2022e).

A discussão acerca do custo-benefício envolvendo obras no setor elétrico também ocorre internacionalmente. A Rede Europeia de Operadores de Sistemas de Transmissão (ENTSO-E) afirma que novos ativos de transmissão são possíveis soluções para o planejamento do futuro do sistema de energia elétrica de uma região e que os critérios de avaliação de cada projeto devem refletir o valor agregado para a sociedade. A viabilidade econômica e social deve ser demonstrada através do aumento da capacidade de comercialização de energia, sustentabilidade e também da segurança do fornecimento (ENTSO-E, 2018).

3.3 A interligação de Cruzeiro do Sul e Feijó ao SIN proposta pela EPE

Tendo em vista a necessidade de integrar os municípios acreanos ao SIN, a EPE desenvolveu o documento “Estudos para a licitação da expansão da transmissão: integração de Cruzeiro do Sul e Feijó ao Sistema Interligado Nacional”, em 2019. De acordo com o órgão, o estudo teve como objetivo definir a melhor forma de conexão do ponto de vista técnico e econômico para integrar as localidades.

Quatro alternativas de sistema em 230 kV foram trazidas e, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, todas elas atendiam aos critérios de planejamento e operação, sendo diferentes apenas no tocante aos investimentos e à confiabilidade (EPE, 2019).

A primeira alternativa foi definida pela integração por circuito duplo nos trechos da linha de transmissão (LT) Rio Branco – Feijó, com 360 km de extensão, e LT Feijó – Cruzeiro do Sul, com 310 km de extensão. Com o circuito duplo em toda a extensão, haveria um maior gasto inicial na construção com as fundações, estruturas de torre, circuitos e demais equipamentos. Por outro lado, essa alternativa traria maior confiabilidade, atendendo ao critério N-1.

A segunda alternativa foi definida pela integração por circuito simples, com as cargas sendo atendidas apenas com o critério N (sem redundância) e, de acordo com o crescimento da carga e a evolução do sistema, haveria implantação do segundo circuito. Os gastos iniciais seriam menores sem a construção do segundo circuito,

porém, a alternativa teria menor confiabilidade, atendendo as cargas com o critério N (EPE, 2019). Isso significa que o sistema não seria capaz de suportar contingências simples, podendo ocorrer interrupção no fornecimento.

A terceira alternativa foi definida pela integração por circuito simples, mas lançado em torres de circuito duplo. Assim, as cargas inicialmente seriam atendidas com o critério N e, de acordo com o crescimento da carga e a evolução do sistema, o segundo circuito seria lançado nas torres de circuito duplo já disponibilizadas. O custo dessa solução seria 40% menor com relação à primeira alternativa, com torres de circuito duplo tradicional, e 20% maior do que a segunda alternativa, com circuitos simples.

Finalmente, a quarta alternativa foi definida pela integração por circuito simples, com o uso de torres de circuito duplo apenas em trechos mais críticos no âmbito fundiário e socioambiental, sendo estes próximos a terras indígenas e unidades de conservação. Dessa forma, as cargas inicialmente seriam atendidas com o critério N e, caso no futuro fosse necessário licitar um novo circuito, os trechos mais críticos seriam compartilhados em uma única torre (EPE, 2019).

Vale lembrar que a questão das terras indígenas na região já trouxe discussões que culminaram no atraso da conexão ao SIN, assim como citado anteriormente no histórico das tentativas de interligação. Em seus estudos, a EPE buscou então reduzir a interferência da passagem das linhas de transmissão nessas terras, desviando o traçado da linha e se afastando em torno de 8 km do limite das reservas indígenas. Esse desvio encareceria o projeto em torno de R\$ 88 milhões (EPE, 2019).

A Tabela 3 aponta o valor presente de cada alternativa de acordo com o levantamento feito pela EPE.

Tabela 3 - Alternativas de interligação propostas pela EPE e valores

Alternativa	Custo total de investimento (R\$ x 1.000)
1	762.304,32
2	463.222,04
3	556.229,88
4	506.738,68

Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de (EPE, 2019)

Analisando a Tabela 3, a Alternativa 2 demonstrou ser a mais econômica. Porém, a EPE afirma que as interações com o ONS fizeram privilegiar alternativas que considerassem a utilização de torres de circuito duplo, tendo em vista as particularidades da região e a eventual evolução do sistema para o critério N-1. Por conseguinte, a Alternativa 4 passou a ser a melhor escolha para interligar os municípios de Cruzeiro do Sul e Feijó ao SIN, mitigando impactos ambientais e possíveis riscos na futura evolução do sistema de transmissão (EPE, 2019).

Entre as quatro propostas pela EPE, as Alternativas 2, 3 e 4 previam o lançamento de apenas um circuito para integração da carga isolada, flexibilizando assim o critério de confiabilidade previsto nos submódulos dos Procedimentos de Rede do ONS. Tendo em vista que a melhor opção escolhida foi a Alternativa 4, também com tal flexibilização do critério N-1, a EPE levantou custos relacionados à contratação e manutenção do parque gerador local para suprimento da carga nos casos de contingência no período entre 2025 e 2035.

Os resultados apontaram que com a implantação do parque gerador local, a alternativa que anteriormente tinha o menor custo, Alternativa 2, passaria a ser 61,1% mais cara que a alternativa que implantaria o circuito duplo. Logo, a contratação da geração térmica local como forma de *backup*, sendo acionada apenas em casos de contingência da transmissão, seria muito mais onerosa. No caso de se optar por não flexibilizar o critério de confiabilidade, seria mais econômico integrar a carga por meio de circuito duplo (EPE, 2019).

O ONS estabelece no Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede que, entre as premissas e critérios comuns a todos os processos, durante o desempenho do sistema não pode haver necessidade de corte de carga provocado pela ocorrência de contingência simples, logo, obedecendo o critério N-1. O Operador cita ainda que, com o intuito de cumprir esse requisito, a geração térmica é um tipo de recurso que deve ser utilizado. Logo, se o circuito duplo não fosse implantado, o ONS poderia desejar que as usinas termelétricas locais não fossem desligadas, cumprindo assim o que é estabelecido nos Procedimentos de Rede.

Por outro lado, a EPE aponta um levantamento realizado com o apoio do ONS acerca do histórico de ocorrências nas linhas de transmissão da região do estudo. Entre 2014 e 2018, 85% das 54 ocorrências foram de interrupções que tiveram reestabelecimento em menos de 15 minutos. Dois eventos com interrupções de

durações maiores que 24 horas ocorreram por conta de vandalismo e queda de torre (EPE, 2019).

Portanto, o baixo número de eventos de interrupção no fornecimento da região, o alto custo para manter a geração termelétrica local, dependente do diesel, e a discussão acerca da flexibilização ou manutenção do critério N-1 de confiabilidade definido nos Procedimentos de Rede do ONS servem como motivação para o desenvolvimento de novas alternativas para o suprimento de eletricidade. O debate deve ser amplo, analisando não somente alternativas elétricas, mas também energéticas, tendo como foco a sustentabilidade.

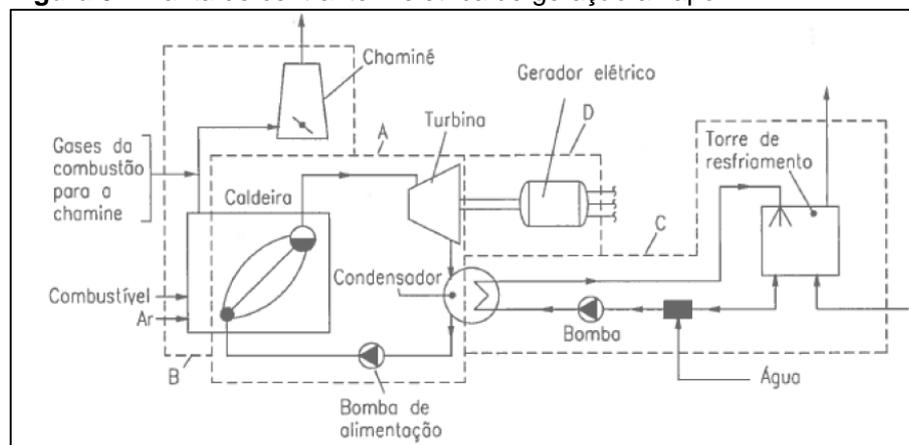
4 TERMELETRICAS E A BIOMASSA RESIDUAL DE MADEIRA

4.1 Usinas termelétricas

A energia termelétrica pode ser definida como toda e qualquer energia elétrica produzida por uma central que tem o seu funcionamento dependente da geração de calor advinda da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (RIBEIRO, 2018).

O ciclo a vapor é uma tecnologia consolidada e muito utilizada na termelétrica. A turbina a vapor é utilizada como máquina térmica nas centrais termelétricas desse ciclo, com o objetivo único de produzir eletricidade. A combustão é externa, logo, todo tipo de combustível pode ser utilizado, assim como óleo diesel, óleo combustível, carvão, gás natural e biomassa, sendo essa última disposta na forma de lenha, bagaço de cana, resíduos e outras (TOLMASQUIM, 2016). A Figura 5 ilustra um esquema simplificado de uma planta de potência a vapor.

Figura 5 - Planta de central termelétrica de geração a vapor



Fonte: Modificado de NASCIMENTO *et al.* (2004)

Os principais componentes de uma planta de potência a vapor são: caldeira, turbina a vapor, condensador e bomba de água de alimentação, indicados em A na Figura 5. Equipamentos de manuseio do combustível e exaustão de gases estão indicados em B; em C os equipamentos do sistema de resfriamento de água do condensador e reposição de água; além do gerador elétrico, responsável pela conversão da energia mecânica em elétrica, em D (NASCIMENTO *et al.*, 2004; LORA, 2004).

O funcionamento do ciclo ocorre com o calor da queima do combustível sendo transferido para o fluido, que se expande na forma de vapor com alta pressão e temperatura na caldeira. A energia do vapor é transformada em energia mecânica na turbina e aciona assim o eixo acoplado no gerador. O gerador é o responsável pela produção de energia elétrica. O vapor de exaustão da turbina é condensado nos tubos do condensador, troca calor com a água que vem do sistema de resfriamento e retorna à condição de condensado. Esse condensado é aquecido, retornando para a caldeira e fechando o ciclo (LORA, 2004; LIMA e MENDES, 2004; TOLMASQUIM 2016).

De acordo com Tolmasquim (2016), as termelétricas com ciclo a vapor possuem eficiência na faixa de 42% a 44%, sendo mais eficientes as movidas a gás natural ou óleo combustível. Essas termelétricas são caracterizadas por potências elevadas, alcançando até 1.200 MW.

O ciclo Rankine é o ciclo a vapor mais utilizado para geração elétrica. Ele é composto de quatro etapas: na primeira, o fluido de trabalho é bombeado para aumentar a pressão; na segunda, à pressão constante, tal fluido é aquecido para se tornar vapor saturado; na terceira, esse vapor, com alta pressão e temperatura, é expandido numa turbina até diminuir os valores de pressão e temperatura; na quarta e última etapa, o fluido passa por um condensador a vácuo e se condensa à pressão constante, sendo bombeado novamente e reiniciando o ciclo (TOLMASQUIM, 2016).

4.2 Biomassa: definições e participação na matriz elétrica

Assim como define o Balanço Energético Nacional (BEN), a biomassa é uma fonte primária de energia, não fóssil, que corresponde à matéria orgânica de origem animal ou vegetal, armazenando energia química (EPE, 2021).

Para fins energéticos, a biomassa pode ser classificada de acordo com sua origem: biomassa energética florestal, seus produtos e resíduos; biomassa energética da agropecuária, culturas agroenergéticas e resíduos agrícolas, agroindustriais e da produção animal; além de rejeitos urbanos (EPE, 2021).

Reis, Fadigas e Carvalho (2005) trazem uma classificação semelhante para biocombustíveis e suas relações com a biomassa, assim como aponta o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos biocombustíveis

Biomassa oriunda das florestas nativas e plantadas	Lenha, carvão vegetal, briquetes, cavacos e resíduos sólidos oriundos do aproveitamento não energético da madeira
	Biocombustíveis líquidos e gasosos, subprodutos dos processos de conversão da madeira. Ex.: metanol, gás de gaseificação
Biocombustíveis não florestais – Agroindústria	Combustíveis sólidos e líquidos produzidos a partir de plantações energéticas. Ex.: álcool da cana-de-açúcar
	Resíduos de plantações energéticas. Ex.: palhas, folhas e pontas da plantação de cana-de-açúcar
	Resíduos da agroindústria. Ex.: casca de arroz, palha de milho
	Subprodutos animais transformados em biogás. Ex.: esterco de aves, bovinos, suínos, caprinos
	Combustíveis obtidos do processamento de oleaginosas (biodiesel), tais como soja, milho, mamona, girassol, dendê
Resíduos urbanos	Resíduos sólidos, líquidos e gasosos provenientes do processamento dos esgotos e lixos industriais, comerciais e domésticos

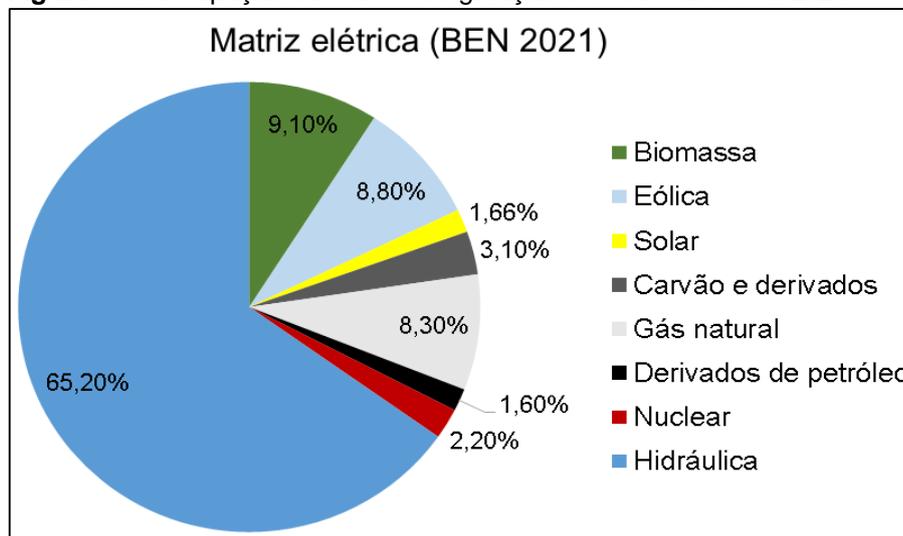
Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de REIS, FADIGAS e CARVALHO (2005)

No mundo, a utilização de biogás para geração de energia elétrica entre 2011 e 2020 apresentou evolução de 11.432 MW para 20.150 MW, um aumento de 76,25%, de acordo com os dados da International Renewable Energy Agency (IRENA). O relatório com estatísticas acerca da capacidade de geração renovável aponta ainda que o Brasil é o 9º colocado no ranking das nações que mais utilizam o biogás, com mais de 417 MW gerados em 2020 (IRENA, 2021).

A participação da biomassa na matriz elétrica brasileira vem crescendo nos últimos anos. A Figura 6 demonstra a participação e porcentagem de cada fonte na geração de eletricidade no país. Ao comparar com o BEN 2020, a biomassa elevou

seu patamar de participação de 8,4% para 9,1% da matriz, se tornando assim a segunda maior fonte utilizada.

Figura 6 - Participação das fontes de geração de eletricidade em 2021



Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de EPE (2021)

No Brasil, grande parte da energia da biomassa florestal é composta pela produção de carvão vegetal por meio da carbonização, consumo direto de lenha, cavaco, licor negro e resíduos florestais via combustão (COUTO; MÜLLER, 2013). Diversos empreendimentos optam pelo uso de cavaco de madeira e de resíduos florestais para a geração de energia térmica ao invés da utilização de combustíveis fósseis, se atentando aos benefícios socioeconômicos e ambientais (MIRANDA *et al.*, 2017; NASCIMENTO; BIAGGIONI, 2010).

O aproveitamento energético da biomassa florestal ocorre por meio de processos termoquímicos que convertem a energia química presente nessa biomassa em energia térmica e, posteriormente, em energia mecânica e elétrica. A combustão direta é o método mais tradicional, difundido e de tecnologia madura para converter esse tipo de combustível em calor. São utilizados fornos ou caldeiras para produção de vapor e posterior conversão em energia mecânica e elétrica por meio de turbinas a vapor (FILHO *et al.*, 2017).

Tolmasquim (2016) afirma que unidades mais modernas se tornaram mais eficientes no uso energético da biomassa em processos industriais nas últimas décadas, gerando maiores excedentes de bioeletricidade e ampliando a receita. As florestas energéticas plantadas para geração elétrica estão aumentando sua participação e contribuindo para a diversificação.

O Governo Federal também é responsável pela maior inserção desse tipo de fonte, trazendo incentivos que objetivam o aumento da participação da bioeletricidade na matriz energética nacional, como por exemplo os leilões de energia dedicados às fontes alternativas (TOLMASQUIM, 2016).

O uso da silvicultura e da lenha de florestas energéticas ainda possui uma participação tímida na atividade florestal brasileira. Porém, projeções indicam que essa fonte vai se destacar no parque gerador nacional nas próximas décadas. Além das outras formas de biomassa citadas anteriormente, é possível também aproveitar resíduos dessas atividades (TOLMASQUIM, 2016). Uma atividade que gera bastante resíduo é a exploração madeireira. Esses resíduos madeireiros também podem se tornar fonte de combustível limpa, renovável e eficiente.

4.3 Biomassa de resíduo madeireiro e sua utilização na geração de energia

Os resíduos madeireiros compõem parte da biomassa disponível para geração de eletricidade em alguns países. Esse tipo de insumo é explorado a partir da utilização de restos oriundos da colheita e transformação de madeira, tais como refilos, serragem, cascas, maravalha e cavaco (PREILIPPER *et al.*, 2016).

No Brasil, tendo em vista a falta de alternativas de destinação para esses resíduos, grande quantidade deles é simplesmente empilhada e encontrada em vários estágios de decomposição (PREILIPPER *et al.*, 2016). Uma possível fonte de combustível para centrais termelétricas encontra-se na queima desse resíduo madeireiro, que tem como aliado a capacidade calorífica da madeira.

A Tabela 4 demonstra a potência advinda de usinas que utilizam biomassa como fonte de geração no Brasil e a participação dos resíduos de madeira entre os anos de 2013 e 2020, de acordo com os dados do Balanço Energético Nacional de 2021.

Tabela 4 - Potência em MW das usinas a biomassa e a resíduo madeireiro no Brasil entre 2013 e 2020

Usinas em operação	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Biomassa (geral)	11.601	12.341	13.257	14.147	14.505	14.790	14.978	15.306
Resíduos de madeira	366	358	409	432	431	474	544	592

Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de (EPE, 2021)

Os dados do Sistema de Informações de Geração (SIGA) da ANEEL apontam um total de 3.111 usinas termelétricas no Brasil, com potência total outorgada de 46.556 MW (ANEEL, 2021a). Dessa forma, apesar do aumento do uso de resíduos de madeira como combustível nas usinas termelétricas, assim como apontado na Tabela 4, essa fonte ainda possui uma participação marginal na geração de eletricidade no Brasil.

Essa situação contrasta com o avanço do desmatamento em solos amazônicos. O desflorestamento na Amazônia durante o ano de 2021 foi o pior em 10 anos, com um crescimento de 29% em relação a 2020. Foram destruídos entre janeiro e dezembro de 2021 mais de 10.300 km² de mata nativa, área equivalente à metade do estado de Sergipe. Acre, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins bateram recordes com as maiores áreas de floresta destruídas nos últimos 10 anos. O estado do Acre foi o terceiro com o maior aumento quando comparado com o ano anterior, com 28% (IMAZON, 2022).

Ainda de acordo com o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), o ano de 2022 continua com tendência semelhante. Apenas em fevereiro, mais de 300 km² de mata nativa foram destruídos na Amazônia Legal, área equivalente ao tamanho de Fortaleza. Foi a maior área devastada no mês de fevereiro dos últimos 15 anos e, em relação ao mesmo mês do ano passado, foi observado um aumento de 70%.

Soma-se ao avanço do desflorestamento o fato das cadeias produtivas dos produtos do processamento mecânico da madeira possuírem um baixo grau de aproveitamento da matéria prima. Os maquinários e as técnicas utilizadas são precárias, resultando em uma baixa produtividade na indústria madeireira e gerando um alto volume de resíduos não aproveitáveis, causando danos ambientais e

financeiros (CORDEIRO e NOLASCO; 2017). O desperdício de madeira na forma de resíduos supera os 60%, podendo chegar em até 80% (COSTA *et al.*, 2020).

Além disso, Costa *et al.* (2020) afirmam que para as empresas o armazenamento desses resíduos não é considerado uma etapa importante. Geralmente são empilhados no entorno das madeireiras, onde posteriormente ocorre a queima e em poucos casos há comercialização ou doação desses resíduos. De acordo com os proprietários, o descarte desses resíduos é um grande problema para as empresas, pois se torna mais fácil dar destinação aos de menores dimensão, tais como pó de serra e serragem. Porém, resíduos maiores ficam empilhados e acumulados em locais adjacentes às marcenarias.

Por outro lado, Reis (2017) lembra da importância da biomassa plantada como fonte de energia renovável, que apresenta vantagens ambientais inexistentes em combustíveis fósseis. Como não emite óxidos de nitrogênio e enxofre, além do fato do dióxido de carbono (CO₂) lançado na atmosfera durante a queima ser absorvido na fotossíntese das plantas, o balanço de emissões é praticamente nulo.

Especificamente sobre a biomassa de resíduo madeireiro, há também a vantagem de ser um combustível com origens mais diversificadas, podendo ser adquirido de diversos fornecedores e não possuindo a competição com outros usos, assim como a biomassa do bagaço de cana (FILHO *et al.*, 2017).

Guilhermino (2014) traz outras vantagens da utilização da biomassa de resíduos, tais como a redução das emissões de gases prejudiciais ao ambiente, diminuição do risco de incêndios, desenvolvimento local e maior impacto na economia regional, além de uma maior diversificação nas fontes energéticas e menor dependência externa relativa aos combustíveis fósseis.

Com relação aos termos técnico-operacionais, Tolmasquim (2016) lembra que as usinas termelétricas a biomassa são facilmente despacháveis. É possível implantar os projetos próximos aos centros de carga, diminuindo assim a necessidade de construção de extensas linhas de transmissão, o que conseqüentemente evita perdas e impactos socioambientais. O autor lembra ainda da possibilidade do uso de resíduos de madeira em regiões isoladas.

Por outro lado, os altos custos com o transporte dessa biomassa, a necessidade de grandes quantidades e a baixa eficiência de conversão em eletricidade quando comparada ao poder calorífico de combustíveis fósseis podem ser pontos negativos dessa fonte renovável (PREILIPPER *et al.*, 2016).

O transporte da biomassa pode também gerar impacto sobre a infraestrutura viária por conta do tráfego de veículos pesados. Ademais, a circulação desses veículos gera emissão de poluentes atmosféricos e ruídos, além de se tornar um risco à fauna local devido aos acidentes. A poluição do ar e sonora também afugentam a fauna. Como forma de mitigar tais impactos, é necessário um bom planejamento logístico, fazendo a manutenção adequada do maquinário, das vias utilizadas para transporte, além da implantação de placas de sinalização, radares e lombadas (TOLMASQUIM, 2016).

As emissões de material particulado, que alteram a qualidade do ar, também são pontos de destaque no caso de termelétricas a biomassa. Existem no mercado tecnologias para controle de emissão que atingem até 99,9% de eficiência, no entanto, são caros e não são amplamente empregados nessas usinas (TOLMASQUIM, 2016).

Apesar desses impactos, e se corretamente mitigados, a utilização da biomassa de resíduo madeireiro como combustível para usinas termelétricas tem um balanço positivo. A substituição de combustíveis fósseis, tais como o diesel, pelo uso da madeira na forma de resíduo pode ser uma boa alternativa para a geração em localidades isoladas, assim como ocorre em Cruzeiro do Sul e Feijó, no Acre.

Cabe verificar a viabilidade nos aspectos termodinâmicos e econômicos dessa alternativa de solução a fim de propor o cenário energético para abastecer tais localidades por meio de usinas termelétricas que utilizam resíduo madeireiro como biomassa.

5 PROPOSTA DE CENÁRIO ENERGÉTICO: USINAS TERMELÉTRICAS DE CRUZEIRO DO SUL E FEIJÓ UTILIZANDO RESÍDUO MADEIREIRO

5.1 Levantamento de dados acerca da biomassa de resíduo madeireiro

De acordo com Costa *et al.* (2020), no ano de 2020 existiam 72 empreendimentos registrados no Instituto de Meio Ambiente do Estado do Acre (IMAC) participantes do setor madeireiro da Regional Juruá, situados nos municípios de Cruzeiro do Sul, Mâncio Lima, Rodrigues Alves, Porto Walter e Marechal Thaumaturgo.

Para este trabalho, porém, as usinas termelétricas idealizadas utilizariam inicialmente a biomassa advinda de uma empresa localizada em Manoel Urbano, também no estado acreano. A empresa é tida como a maior madeireira do Acre (ACRE, 2015) e possui estudos realizados por Cordeiro e Nolasco (2017) acerca da geração de resíduos madeireiros em sua serraria.

A Tabela 5 aponta as espécies exploradas pela empresa e os volumes de resíduos no período de um ano a partir de setembro de 2015, de acordo com Cordeiro e Nolasco (2017). As densidades de cada espécie e seus respectivos valores de Poder Calorífico Inferior (PCI) foram obtidas por meio de pesquisas em diferentes fontes, detalhadas na legenda da Tabela 5.

Tabela 5 - Espécies e propriedades utilizadas da madeira de Manoel Urbano - AC

Nome da espécie	Volume residual (m³)	Densidade (g/cm³)	PCI (kcal/kg)
Abiurana	1.253,74	1,03	4.800
Amapá-doce	9,71	1,13	-
Amarelão	189,64	0,86	-
Angelim-doce	207,62	0,97	3.728
Bandarra	134,08	0,49	-
Branquilha/Cinzeiro/Tanibuca	769,88	1,24	-
Cabreúva	974,52	0,89	-
Caucho	1.270,64	0,39	-
Cedro	3.509,18	0,49	4.700
Cerejeira	2.149,91	0,52	4.541

Nome da espécie	Volume residual (m ³)	Densidade (g/cm ³)	PCI (kcal/kg)
Cumaru/Cumaru-ferro	7.761,54	1,06	3.722
Curupixá/Guajará	238,20	0,82	4.500
Figueira	8,22	0,4	-
Garapeira	5.149,92	0,86	3.700
Ipê-roxo/Pau-d'arco	142,58	0,99	4.065
Itaúba/Itaúba-da-mata	45,00	1,09	-
Jatobá	4.839,62	0,85	4.599
Maçaranduba	3,38	0,98	3.121
Mama-de-porca	15,07	0,56	-
Muiracatiara	2.703,95	0,84	4.300
Matamatá	3.753,01	0,90	4.227
Mogno	1.700,98	0,56	-
Mulateiro/Pau-mulato	56,67	0,65	-
Oiticica/Guariuba	1.298,76	0,62	-
Pequiá	259,33	0,72	-
Pinho-cuiabano-branco	167,56	0,55	-
Pinho-do-norte/Açacú	1.209,28	0,42	-
Potumuju	2.540,22	0,73	4.339
Sumaúma	558,28	1,01	3.500
Tamarindo	58,71	1,02	-

Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de CONTRERAS e BORDA (2020); CORDEIRO e NOLASCO (2017); GOMES (2016); LIMA (2020); LPF (2021); PINHEIRO (2005); QUIRINO *et al.* (2005) e VIANA (2017)

Para o cálculo do potencial gerado pelos resíduos da madeira, foi utilizada como base a Equação 1, proposta por Coelho *et al.* (2008).

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{[(t_{madeira} \times 0,5) \times PCI \times 0,30]}{860 \times 8322} \quad (1)$$

Algumas considerações devem ser feitas a partir da análise da equação. Para o caso previsto por Coelho *et al.* (2008), levaram-se em conta apenas os resíduos

advindos da fase de processamento, representando assim 50% no peso total da madeira em tora, definido pela multiplicação por 0,5 no numerador da equação.

No entanto, a Tabela 5 descreve a quantidade exata do volume de resíduos para cada espécie explorada pela madeireira, em m³. Assim, com os respectivos valores de densidade, em kg/m³, é possível encontrar a massa de resíduos, em toneladas, a partir da multiplicação do volume pela densidade.

Com relação à eficiência do processo, que pode ser representada pela variável η , Coelho *et al.* (2008) utiliza o valor de 30%, definido pela multiplicação por 0,30 no numerador da equação. Para o estudo em questão, o valor de η será de 40%, tomando como base o proposto por Bezerra *et al.* (2018).

A conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860 e, além disso, assim como proposto por Coelho *et al.* (2008), será considerado que a operação de cada usina ocorre em 95% das horas anuais, resultando em 8.322 horas de operação por ano.

Vale lembrar que não foi possível encontrar, por meio de pesquisas, o PCI de todas as espécies. Assim, no caso de tal espécie não possuir esse valor exato, o PCI foi dado pela média do Poder Calorífico Inferior das outras que possuíam seus valores exatos.

A quantidade de resíduo gerado pela madeireira na localidade de Manoel Urbano durante o período citado atinge valores de quase 34.800 toneladas. Somando o potencial de cada espécie explorada, a usina teria a capacidade de gerar em torno de 8 MW em um ano somente com tais resíduos.

O fato de apenas uma empresa madeireira, durante um ano de operação, ter o potencial de 8 MW em seus resíduos é um ponto de destaque. Porém, tal potencial ainda não seria suficiente para abastecer as localidades de Cruzeiro do Sul e Feijó.

Os dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA) apontam que Cruzeiro do Sul possui usinas em operação que, atualmente, somam potência outorgada de 34 MW, enquanto as usinas de Feijó atingem valores de 6,25 MW (ANEEL, 2021a).

Dessa forma, é preciso buscar maiores quantidades de biomassa florestal nos demais municípios próximos para alimentar as usinas. Para tal, é interessante analisar o comportamento da exploração madeireira no restante do Acre e nos estados do Amazonas e Rondônia, sempre visando maior proximidade com as localidades a serem abastecidas para evitar maiores gastos com o transporte de biomassa.

De acordo com notícia publicada no G1, Feijó está entre as dez cidades com maior área de exploração madeireira no país (G1, 2021). O Sistema de Monitoramento de Exploração Madeireira (SIMEX) do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) aponta que, além de Feijó, a capital Rio Branco e os municípios de Sena Madureira, Bujari, Porto Acre e Tarauacá se destacam no segmento no estado acreano (IMAFLOA, 2021). No estado do Amazonas, entre as cidades com exploração de madeira e com maior proximidade do Acre, destaca-se Boca do Acre (LENTINI, 2021). Por sua vez, a capital Porto Velho é o município com maior exploração madeireira no estado de Rondônia (SIMEX, 2021).

A Tabela 6 aponta as localidades que se destacam na atividade madeireira e que se encontram mais próximas às cidades de Feijó e Cruzeiro do Sul e a respectiva produção em metros cúbicos de madeira em tora.

Tabela 6 - Municípios e produção de madeira em tora entre agosto/2019 e julho/2020

Município	Volume em tora (m³)
Porto Velho (RO)	418.863,00
Feijó (AC)	78.659,27
Rio Branco (AC)	52.983,78
Sena Madureira (AC)	48.999,49
Bujari (AC)	37.887,37
Boca do Acre (AM)	37.244,22
Porto Acre (AC)	13.278,60
Tarauacá (AC)	3.456,71

Fonte: Produzida pelo autor com base nos dados de IMAFLORA (2021); LENTINI (2021) e SIMEX (2021)

Adaptando os parâmetros da Equação 1, é possível calcular o potencial que a produção de madeira nesses municípios traria para as usinas. Para o caso da empresa no município de Manoel Urbano, valores mais próximos da realidade se tornaram viáveis devido ao detalhamento da quantidade de resíduos advinda da produção madeireira, do nome das espécies exploradas e, assim, do PCI de cada uma. Para analisar, porém, o potencial da exploração nos municípios listados na Tabela 6, alguns valores devem ser adotados.

De acordo com Cordeiro e Nolasco (2017), a taxa de resíduos total na empresa localizada em Manoel Urbano foi de 73%. Além disso, pesquisas

complementares apontaram PCI médio das espécies de 4.131,57 kcal/kg e densidade média de 788 kg/m³. Esses valores, apesar de serem específicos para o caso dessa empresa, foram utilizados para o cálculo dos demais potenciais das localidades da Tabela 6. Dessa forma, o cálculo foi realizado por meio da Equação 2 abaixo.

$$Potencial \left(\frac{MW}{ano} \right) = \frac{\left[\frac{(\rho_{madeira} \times V_{tora} \times \%_{resíduo})}{1000} \times PCI_{médio} \times \eta \right]}{860 \times h_{operação}} \quad (2)$$

Sendo:

$\rho_{madeira}$ = densidade média das madeiras exploradas, adotada como 788 kg/m³;

V_{tora} = volume em tora explorado no município [m³];

$\%_{resíduo}$ = taxa de resíduos na exploração, adotado como 73%;

$PCI_{médio}$ = Poder Calorífico Inferior médio das espécies, adotado como 4.131,57 kcal/kg;

η = rendimento do ciclo termodinâmico, adotado como 40%;

$h_{operação}$ = horas de operação da usina, adotado como 8.322 horas anuais.

Dessa forma, a Tabela 7 aponta o potencial de geração que cada município citado possui por meio dos resíduos da exploração madeireira.

Tabela 7 - Municípios e capacidade de geração em MW

Município	Potencial (MW)
Porto Velho (RO)	55,64
Feijó (AC)	10,45
Rio Branco (AC)	7,04
Sena Madureira (AC)	6,51
Bujari (AC)	5,03
Boca do Acre (AM)	4,95
Porto Acre (AC)	1,76
Tarauacá (AC)	0,46

Fonte: Produzida pelo autor

5.2 Levantamento de custos das usinas termelétricas

5.2.1 Custos de transporte da biomassa

Para analisar os custos envolvidos no transporte dos resíduos madeireiros para as usinas é necessário planejar uma logística que permita identificar a origem dessa biomassa e sua quantidade, o destino e a distância entre as localidades.

Além disso, torna-se importante idealizar um modelo de transporte e o custo do seu combustível. De acordo com a Transporte Mundial (2018), a Mercedes-Benz possui caminhões para operações de longas viagens em rodovias com cargas mais pesadas. Para este trabalho, o modelo Axor 2644 de 9 eixos foi escolhido. Esse caminhão possui 70 toneladas de capacidade em Peso Bruto Total Combinado (PBTC) e tanque de combustível de 500 litros (GUIA DO TRC, 2009).

Com relação ao consumo de diesel nas rodovias, esse caminhão tem consumo médio de 2 km/l, de acordo com o Banco Mercedes-Benz (2015). Ademais, o valor médio do Diesel S-10 no Acre no ano de 2021 foi de R\$ 6,285 (MOTOR SHOW, 2021).

Tendo em vista o seu destaque na produção madeireira e a potência de suas usinas atualmente, o município de Feijó poderia ser eletricamente autossuficiente. Sem a necessidade da busca de biomassa em outras localidades, a distância da cidade de origem seria nula, assim como aponta a Tabela 8, praticamente zerando os custos de combustível no transporte.

Tabela 8 - Distribuição de biomassa para o município de Feijó

Origem	Quantidade (t)	Potência (MW)	Distância (km)
Feijó (AC)	41.526,58	7	-

Fonte: Produzida pelo autor

De acordo com a Tabela 7, o potencial do município de Feijó advindo dos resíduos madeireiros atingiria 10,45 MW. Os resíduos restantes, que teriam potencial de 3,45 MW, seriam destinados à cidade de Cruzeiro do Sul. Além disso, as outras localidades citadas na Tabela 7, somadas com a empresa madeireira de Manoel Urbano - AC, abasteceriam o município cruzeirense. A exceção fica por parte de Porto

Velho - RO, tendo em vista sua maior distância até a cidade acreana, objetivando assim diminuir os custos de combustível.

Assim, a Tabela 9 abaixo lista as localidades que abasteceriam Cruzeiro do Sul com biomassa de resíduo madeireiro, a quantidade e respectivo potencial de geração, além da distância até o município cruzeirense.

Tabela 9 - Distribuição de biomassa para o município de Cruzeiro do Sul

Origem	Quantidade (t)	Potência (MW)	Distância (km)
Manoel Urbano - AC	34.766,41	8,00	422,00
Rio Branco - AC	41.751,22	7,04	635,10
Sena Madureira - AC	38.611,60	6,51	495,60
Bujari - AC	29.855,25	5,03	611,10
Boca do Acre - AM	29.348,45	4,95	858,00
Feijó - AC	20.456,92	3,45	276,20
Porto Acre - AC	10.463,54	1,76	686,50
Tarauacá - AC	2.723,88	0,46	229,50
Total	207.977,27	37,20	4.214,00

Fonte: Produzida pelo autor

Tendo conhecido a distância entre as cidades, a quantidade necessária de biomassa para as usinas e a carga adequada para cada caminhão, é necessário analisar o gasto com diesel para abastecimento dos caminhões usados no transporte.

Considerando a duração das viagens completas, a distribuição semanal do resíduo de madeira para a usina de Cruzeiro do Sul traz uma análise mais detalhada da quantidade de caminhões necessária e valor de combustível, assim como aponta a Tabela 10.

Tabela 10 - Distribuição semanal de biomassa para Cruzeiro do Sul

Origem	Carga (t)	Quant. de caminhões	Custo de combustível
Manoel Urbano - AC	655,97	2	R\$ 7.956,81
Rio Branco - AC	787,75	5	R\$ 19.958,02
Sena Madureira - AC	728,52	5	R\$ 15.574,23
Bujari - AC	563,30	3	R\$ 11.522,29

Origem	Carga (t)	Quant. de caminhões	Custo de combustível
Boca do Acre - AM	553,74	6	R\$ 32.355,18
Feijó - AC	385,97	2	R\$ 3.471,83
Porto Acre - AC	197,42	2	R\$ 8.629,31
Tarauacá - AC	51,39	1	R\$ 1.442,41
Total	3.924,06	26	R\$ 100.910,07

Fonte: Produzida pelo autor

Alguns caminhões são capazes de fazer mais de uma viagem completa por dia e distribuir a carga para mais de uma localidade. No caso de Tarauacá, tendo em vista a pouca carga semanal e menor distância até Cruzeiro do Sul, o caminhão utilizado poderia também fazer viagens para Manoel Urbano, que antes necessitaria de três caminhões, mas com essa reutilização precisaria apenas de dois.

Para a usina de Cruzeiro do Sul, o custo anual de diesel para abastecer os caminhões giraria em torno de R\$ 5.348.233,71. Porém, tendo em vista um contrato com uma empresa de logística para realizar tal função, o valor estimado foi de **R\$ 7.000.000,00**.

Já para a usina localizada em Feijó, considerando o custo de combustível nulo, assim como citado anteriormente, seria necessário apenas mais um caminhão, diminuindo consideravelmente os gastos com a logística. Assim, o valor estimado para a empresa de logística foi de **R\$ 500.000,00**.

5.2.2 Custos estimados para as usinas termelétricas de Feijó e Cruzeiro do Sul

Para modelar os custos das usinas termelétricas (UTE) a resíduo de madeira nos municípios de Feijó e Cruzeiro do Sul, faz-se necessário levantamento de dados baseado em estudos com características semelhantes.

A estimativa do investimento inicial para a UTE de Cruzeiro do Sul tomou como referência valores empregados em usinas termelétricas que utilizam madeira como fonte e com potencial de geração semelhante. O Leilão de Energia Nova A-5, ocorrido em 30 de setembro de 2021, teve como um dos vencedores a UTE Sorriso, da FS Agrisolutions, com potência de 55 MW, utilizando cavaco de madeira como fonte. O investimento foi de R\$ 100.651.000,00 (CCEE, 2021).

Por sua vez, a usina de Guaçu, localizada no norte do Mato Grosso, de 30 MW, com mesma fonte, teve investimento de R\$ 86.735.000,00, de acordo com o Resultado dos Leilões de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2016). Essa UTE teve entrada em operação comercial em 2013, assim como aponta o SIGA (ANEEL, 2021a). Tomando como base essas duas referências, para este estudo, o valor do investimento inicial para a UTE de Cruzeiro do Sul adotado foi de **R\$ 95.000.000,00**.

Para estimar o valor da UTE de Feijó, de 7 MW, pode-se observar a usina termelétrica a cavaco de madeira Predilecta, de 5 MW. Essa UTE teve investimento de R\$ 30.019.640,00, de acordo com o Resultado dos Leilões de Geração da ANEEL (2016), com entrada em operação comercial em 2019, assim como aponta o SIGA (ANEEL, 2021a). Assim, para este estudo, o valor adotado do investimento inicial para a UTE de Feijó foi de **R\$ 35.000.000,00**.

De acordo com a Rede Europeia de Operadores de Sistemas de Transmissão (ENTSO-E) (2018), as despesas de capital, ou *capital expenditure* (CAPEX), envolvem custos tais como terreno, projeto, compra e instalação de equipamentos. Enquanto isso, as despesas operacionais, ou *operational expenditure* (OPEX), são baseadas nos custos de operação e manutenção do projeto. Com o auxílio do levantamento bibliográfico realizado, foi feita a estimativa desses custos.

O trabalho de Preilipper *et al.* (2016) analisou condições ambientais e econômicas para a produção de energia elétrica por meio do aproveitamento do resíduo madeireiro no município de Marcelândia - MT, demonstrando a rentabilidade da implantação de uma usina termelétrica de 5 MW com o uso desse tipo de fonte. A usina modelada utilizou cerca de **85%** do investimento inicial para a compra e instalação de equipamentos.

Ribeiro (2018) realizou uma análise técnica e econômica para a implantação de uma UTE a cavaco de eucalipto no município de Viçosa - MG, com potência bruta de 10 MW. Com relação à depreciação dos ativos, o autor utilizou valores de **4% a.a.** para as obras civis e **10% a.a.** para os equipamentos. Para valores de O&M (operação e manutenção) variáveis, adotou **R\$ 10,58/MWh**.

O estudo de Seratto (2010) verificou a viabilidade de um projeto de inovação incremental a partir da utilização de cavacos de eucalipto para a unidade termelétrica da Usina Santa Terezinha de Paranacity - PR, com capacidade de geração de 96.604 MWh de energia. O autor utilizou **2%** para o percentual de O&M fixos.

Lima Junior *et al.* (2015) trazem em seu estudo uma análise de viabilidade econômica para o aproveitamento energético da lenha da Caatinga de diferentes formas, sendo uma delas a produção de energia elétrica em termelétricas com ciclo a vapor. Entre os tributos e encargos incluídos, os autores adotaram Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (CONFINS) de **7,6%** sobre o faturamento mensal, Programa de Integração Social (PIS) de **1,65%**, Contribuição Social sobre Lucro Líquido (CSLL) de **9%** e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) de **12%**.

Os valores levantados nos referenciais bibliográficos serviram como subsídio para modelar os custos das usinas termelétricas a resíduo de madeira nos municípios acreanos de Cruzeiro do Sul e Feijó. A Tabela 11 reúne tais informações.

Tabela 11 - Dados para a idealização das UTE a resíduo de madeira de Cruzeiro do Sul e Feijó

Dados do empreendimento	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
Potência	38 MW	7 MW
Horas de operação	8.322 h	8.322 h
Geração/ano	316.236 MWh	58.254 MWh
Vida útil	25 anos	25 anos
Investimento	R\$ 95.000.000,00	R\$ 35.000.000,00
Despesas	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
Construção civil	R\$ 14.250.000,00	R\$ 5.250.000,00
Equipamentos	R\$ 80.750.000,00	R\$ 29.750.000,00
O&M fixo	R\$ 1.900.000,00	R\$ 700.000,00
O&M variável	R\$ 3.345.776,88	R\$ 616.327,32
Depreciação (construção)	R\$ 570.000,00	R\$ 210.000,00
Depreciação (equipamentos)	R\$ 8.075.000,00	R\$ 2.975.000,00
Logística	R\$ 7.000.000,00	R\$ 500.000,00
Impostos	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
CONFINS	7,60%	7,60%
PIS	1,65%	1,65%
CSLL	9,00%	9,00%
ICMS	12,00%	12,00%

Fonte: Produzida pelo autor

5.3 Análise de viabilidade econômica

Todo investimento é feito com o pressuposto de gerar um resultado superior ao valor investido, compensando assim o risco de trocar um valor presente seguro por um valor futuro com risco em sua recuperação. Os modelos para decisão de investimentos objetivam analisar a viabilidade econômica de um investimento antes de sua implementação (PADOVEZE, 2013).

Com o intuito de verificar a viabilidade econômica da implantação da UTE Cruzeiro do Sul e UTE Feijó utilizando resíduo madeireiro como combustível, alguns indicadores financeiros foram utilizados. Assim como cita Ribeiro (2018), o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) são indicadores usualmente empregados nesse tipo de projeto. Além do VPL e TIR, para cada cenário deste trabalho foi também levantado o *payback* do investimento.

De acordo com Padoveze (2013), obter o VPL significa descontar o valor dos fluxos futuros, de acordo com uma taxa de juros específica, de modo em que esse fluxo seja apresentado por valores atuais. Ou seja, é a diferença entre o valor investido e o valor resgatado ao fim do investimento, com base em valores atuais.

Se o valor atual dos fluxos futuros for igual ou superior ao valor atual que será investido, o investimento é viável. Caso contrário, se o valor atual dos fluxos futuros for inferior ao valor atual que será investido, o investimento não deverá ser realizado. O projeto é atrativo se apresenta VPL maior ou igual à zero.

O critério de VPL é o modelo clássico para decisão de investimentos, compreendendo os seguintes aspectos: valor do investimento, valor dos fluxos futuros de benefícios, em quantos períodos os fluxos futuros ocorrerão, além da taxa de juros (PADOVEZE, 2013).

A Taxa Interna de Retorno é uma métrica que estima a rentabilidade de um investimento e compara fluxos de caixa com prazos e taxas de juros diversos. Tecnicamente, a TIR é a taxa de desconto que faz o VPL dos fluxos de caixa de determinado investimento se igualar a zero (BANCO CENTRAL, 2018).

Por sua vez, o *payback*, aplicado ao conceito de VPL, indica em quantos períodos haverá o retorno do investimento inicial. É uma informação importante, tendo em vista que, além do retorno do investimento, é comum desejar saber o tempo de recuperação para auxiliar no processo decisório (PADOVEZE, 2013).

Assim, esses indicadores financeiros foram analisados de acordo com as projeções de três cenários para as usinas termelétricas a resíduo de madeira para abastecimento dos municípios de Cruzeiro do Sul e Feijó, utilizando planilhas modeladas no Excel. Os três cenários se diferenciaram entre si de acordo com as taxas de correção monetária e a porcentagem de participação do empréstimo da instituição financeira.

Com relação à captação de recursos, o Fundo Clima, do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), tem como uma das finalidades o financiamento de empreendimentos que objetivem mudanças climáticas. Ele possui nove subprogramas, com destaque ao de Energias Renováveis, que apoia investimentos em geração e distribuição de energia local renovável a partir do uso de biomassa, com exceção da cana-de-açúcar; da captura da radiação solar; dos oceanos e da energia eólica no caso de Sistemas Isolados (BNDES, 2022).

A taxa de juros foi calculada de acordo com as condições previstas pelo BNDES, considerando que a solicitação seria feita por meio de apoio indireto, ou seja, através de instituição financeira pública credenciada pelo Banco. Para operações indiretas, a taxa de juros deve ser calculada de acordo com a Equação 3 (BNDES, 2022b).

$$Juros = (Fator\ Custo \times Fator\ Taxa\ do\ BNDES \times Fator\ Taxa\ do\ Agente) - 1 \quad (3)$$

O Fator Custo foi composto pela Taxa de Longo Prazo (TLP), definida pelo somatório do valor do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) com uma taxa fixa do BNDES de 4,94% a.a. (BNDES, 2022c).

O Fator Taxa do BNDES depende da receita operacional bruta do beneficiário. Para o caso dessa receita ser de até R\$ 90 milhões por ano, a taxa é de 0,9% a.a. Ultrapassando esse limite, a taxa passa a ser de 1,4% a.a. (BNDES, 2022a). Por sua vez, o valor da Taxa do Agente depende da instituição financeira intermediadora e aqui foi estipulada em 3%, assim como exemplificado pelo Banco (BNDES, 2022b).

O Fundo Clima permite financiamento de até R\$ 80 milhões por beneficiário a cada 12 meses e possui prazo máximo de 16 anos para o pagamento, incluindo período de carência de até oito anos (2022a). Em todos os cenários, a amortização do empréstimo ocorreu em parcelas iguais, somadas com os juros, durante 16 anos.

O IPCA foi também o valor considerado para a correção monetária anual dos valores levantados e para a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) no cálculo do VPL. De acordo com o Banco Central, o IPCA é o índice de referência do sistema de metas para a inflação e mede o preço de uma cesta de consumo para famílias com renda entre um e quarenta salários mínimos em 13 regiões geográficas determinadas (BANCO CENTRAL, 2022a).

Em todos os cenários foi considerado que a receita da usina seria adquirida apenas pela venda da energia gerada. Além disso, foram cobrados anualmente os valores fixos e variáveis referentes à operação e manutenção, valores de depreciação da estrutura e dos equipamentos, valores dos contratos de logística para a entrega da biomassa, além dos impostos considerados, assim como citados anteriormente na Tabela 11.

O valor da energia foi baseado nos preços de referência nos Resultados do Leilão de Energia Nova A-5, de 2021 (CCEE, 2021). Para o caso da usina de Cruzeiro do Sul, o preço foi de R\$ 350/MWh. Para a usina de Feijó, tendo em vista a menor quantidade de energia gerada e, respectivamente, menor arrecadação, o preço estimado foi de R\$ 550/MWh, visando um VPL positivo, portanto, um investimento atrativo.

5.3.1 Cenário 1

O Cenário 1 foi projetado com 100% do valor do investimento vindo de empréstimo do Fundo Clima do BNDES. Tendo em vista o limite máximo de R\$ 80 milhões por beneficiário a cada 12 meses, o caso de Cruzeiro do Sul, com investimento previsto em R\$ 95 milhões, exigiria dois empréstimos com valores de R\$ 47,5 milhões cada.

O valor do IPCA levou em consideração o Boletim Focus, do Banco Central, do dia 25 de março de 2022. Nessa ocasião, a expectativa de mercado para 2022 apontava IPCA com variação de 6,86% (BANCO CENTRAL, 2022).

Dessa forma, a taxa de juros para o empréstimo referente à usina de Cruzeiro do Sul seria de 16,76%, enquanto a de Feijó seria de 16,19%. A Tabela 12 demonstra os valores utilizados e os resultados da análise para o Cenário 1.

Tabela 12 - Cenário 1 de investimento para as usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó

Dados	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
Taxa de juros do BNDES	16,76%	16,19%
Período de amortização	16 anos	16 anos
Participação do BNDES	100%	100%
IPCA	6,86%	6,86%
Preço da energia	R\$ 350/MWh	R\$ 550/MWh
Resultados	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
VPL	R\$ 89.131.459,03	R\$ 10.958.944,31
TIR	20%	17%
<i>Payback</i>	6,45 anos	7,41 anos

Fonte: Produzida pelo autor

5.3.2 Cenário 2

O Cenário 2 foi projetado de maneira semelhante ao Cenário 1, diferindo o valor do IPCA. Para esse caso, o índice foi definido levando em consideração a média das projeções entre 2022 e 2025 do Boletim Focus, do Banco Central, do dia 25 de março de 2022 (BANCO CENTRAL, 2022). Dessa forma, o IPCA foi de 4,125%. A Tabela 13 demonstra os valores utilizados e os resultados da análise para o Cenário 2.

Tabela 13 - Cenário 2 de investimento para as usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó

Dados	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
Taxa de juros do BNDES	14,00%	13,44%
Período de amortização	16 anos	16 anos
Participação do BNDES	100%	100%
IPCA	4,125%	4,125%
Preço da energia	R\$ 350/MWh	R\$ 550/MWh
Resultados	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
VPL	R\$ 114.566.835,30	R\$18.881.124,59
TIR	18%	15%
<i>Payback</i>	6,35 anos	7,36 anos

Fonte: Produzida pelo autor

5.3.3 Cenário 3

O Cenário 3 foi projetado com 50% do valor do investimento vindo de empréstimo do Fundo Clima do BNDES. Assim, metade do valor para a construção das usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó viriam do BNDES, enquanto a outra metade dependeria de recurso próprio. O IPCA, assim como no Cenário 1, levou em consideração o Boletim Focus, e foi adotado como 6,86%.

A Tabela 14 demonstra os valores utilizados e os resultados da análise para o Cenário 3.

Tabela 14 - Cenário 3 de investimento para as usinas de Cruzeiro do Sul e Feijó

Dados	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
Taxa de juros do BNDES	16,76%	16,19%
Período de amortização	16 anos	16 anos
Participação do BNDES	50%	50%
IPCA	6,86%	6,86%
Preço da energia	R\$ 350/MWh	R\$ 550/MWh
Resultados	UTE Cruzeiro do Sul	UTE Feijó
VPL	R\$ 184.131.459,03	R\$ 45.958.944,31
TIR	25%	22%
<i>Payback</i>	5,56 anos	6,61 anos

Fonte: Produzida pelo autor

A análise dos cenários demonstra que, de acordo com as condições utilizadas, os três panoramas indicaram investimentos viáveis. Tendo em vista uma dívida menor devido ao valor mais baixo de financiamento, o Cenário 3 seria mais favorável. O tempo de retorno do investimento é menor, a TIR atinge valores acima de 20% e o VPL também é maior.

Por outro lado, partindo do princípio de que o financiamento seria totalmente dependente do BNDES, o Cenário 2 apresentou melhores resultados com relação ao tempo de retorno e VPL. Com o IPCA menor, os juros para o pagamento do empréstimo feito ao banco tornam-se menores e as parcelas da amortização também.

Além disso, analisando o fluxo de caixa das usinas configuradas, é perceptível grande participação da depreciação dos equipamentos nas despesas, além dos impostos pagos e, especialmente para o caso de Cruzeiro do Sul, o valor despendido

para transportar a biomassa de resíduo madeireiro até a UTE. Para a usina do município cruzeirense, os gastos com a logística desse combustível representam em torno de 12% das despesas anuais.

6 CONCLUSÕES

Diante das pesquisas realizadas, foi possível descrever as condições de abastecimento de energia elétrica nos Sistemas Isolados e entender as peculiaridades dos municípios de Cruzeiro do Sul - AC e Feijó - AC nesse aspecto, além de propor e avaliar um novo cenário energético como alternativa para a geração de eletricidade nessas localidades, atingindo assim os objetivos propostos.

O consumo de eletricidade nas regiões abordadas pelo estudo registrou aumento. O crescimento da carga esperado para 2022 em Cruzeiro do Sul, quando comparado com o ano anterior, ultrapassa os cinco pontos percentuais. Por sua vez, no caso de Feijó, espera-se um crescimento de 4,14%. Esses números reforçam a necessidade da discussão acerca da fonte de geração atual.

Essa geração local, dependente unicamente da termeletricidade a óleo diesel, traz consigo inúmeras reflexões no mérito de seu uso constante. A Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), utilizada para custear essa geração, atingirá valores de R\$ 11,9 bilhões em 2022, onerando os consumidores em todo o país por meio das contas de luz. Somente a geração para abastecer Cruzeiro do Sul e Feijó custam aos cofres públicos R\$ 350 milhões por ano.

Apesar da diminuição do número de Sistemas Isolados ao longo dos anos, fato que ocorre por conta da interligação dessas localidades ao SIN, o valor da CCC continua aumentando. O valor será 21% maior em 2022 quando comparado ao ano anterior. Muito se deve ao aumento dos valores dos combustíveis.

Além dos prejuízos financeiros, a dependência do diesel contribui para o aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE), tais como dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de enxofre (SO), além da possibilidade da emissão de poluentes líquidos que afetam solo, águas superficiais e subterrâneas. O combustível responsável pelo funcionamento das termelétricas dos municípios acreanos estudados demonstra então ser caro e poluente.

A biomassa de resíduo de madeira surge então como uma fonte alternativa ao aliar a necessidade de fontes mais sustentáveis na região do estudo com o avanço da exploração madeireira que ocorre principalmente na Região Norte do país. Essa exploração traz aspectos ainda mais complexos devido ao baixo aproveitamento dessa madeira na indústria, que atinge altos níveis de desperdício.

O estudo demonstrou que, de acordo com os níveis de aproveitamento da madeira explorada apresentados na bibliografia, existiria viabilidade na geração de energia elétrica a partir da exploração madeireira em cidades próximas a Cruzeiro do Sul e Feijó. Mais de 41 mil toneladas de resíduo madeireiro no ano seriam necessários para abastecer a cidade de Feijó, enquanto para o município cruzeirense seriam precisos quase 208 mil toneladas.

Feijó se destacou como um dos municípios que mais exploram madeira em todo o Brasil em 2021, fato que traria autossuficiência na geração de eletricidade ao utilizar o desperdício dessa exploração como combustível. Por outro lado, Cruzeiro do Sul dependeria do transporte dessa biomassa até a sua usina, o que aumentaria os custos dessa geração, tendo em vista contratos de logística que ultrapassariam os R\$ 7 mi. Vale lembrar que o transporte da madeira poderia trazer maiores complicações, tendo em vista a possibilidade de transporte hidroviário além das estradas na região.

Mesmo assim, três cenários foram projetados e, de acordo com as condições estabelecidas, apresentaram viabilidade econômica do cenário energético referente à construção de usinas em Feijó e Cruzeiro do Sul dependentes de resíduo de madeira como combustível.

O melhor cenário dependeria somente de 50% do valor necessário vindo de empréstimo feito junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e teria o retorno do investimento em pouco mais de cinco anos e meio no caso da usina de Cruzeiro do Sul e 6,6 anos no caso da usina de Feijó.

Por outro lado, com o financiamento dependente somente do BNDES, sem nenhum recurso próprio investido, o retorno do investimento para a usina de Cruzeiro do Sul seria de 6,45 anos e 7,41 anos para o caso de Feijó. Em todos os cenários, porém, a Taxa Interna de Retorno (TIR) giraria em torno de 20% e o Valor Presente Líquido (VPL) seria positivo, indicando que os empreendimentos seriam viáveis economicamente.

Por fim, foi observado também a necessidade da cobrança de valores maiores pela energia no município de Feijó, tendo em vista a menor quantidade gerada. Valores mais baixos cobrados por MWh nessa localidade não parecem ser atrativos, tendo em vista os gastos anuais para manter o funcionamento da usina e a amortização do empréstimo feito ao banco.

A interligação dos dois municípios acreanos ao Sistema Interligado Nacional (SIN) já foi iniciada e possui previsão de finalização das obras para 2025. Fazer parte

do SIN eliminaria a necessidade da geração local, tão prejudicada pela dependência do diesel. Porém, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), por meio de seus estudos técnicos, trazem alternativas predominantemente elétricas, discutindo aspectos concentrados na confiabilidade do fornecimento.

Portanto, o presente trabalho apontou um cenário energético, ainda focado na geração local, mas de maneira sustentável. As alternativas elétricas de interligação ao SIN possuem extrema importância, tendo em vista que o futuro da maioria dos Sistemas Isolados é fazer parte dessa malha integrada. Cabe ao engenheiro de energia, porém, apontar cenários sustentáveis e que incluam todo o contexto da região, expandindo a discussão para o âmbito energético, não somente elétrico.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

É comprovado que a biomassa de resíduo madeireiro pode ser utilizada como fonte de combustível em usinas termelétricas. Apesar de ainda pouco explorada, essa fonte já tem presença no Brasil, como o exemplo da Usina Onça Pintada, em Três Lagoas - MS, que utiliza cascas, tocos e raízes para serem queimados na caldeira e produzir 50 GW por ano (CANAL ENERGIA, 2019).

Tomando o exemplo acima como motivação, o objetivo do trabalho de propor e analisar um cenário energético alternativo para o abastecimento de energia elétrica nos municípios de Cruzeiro do Sul e Feijó foi alcançado. Para resultados mais realistas, porém, é necessário atentar-se a detalhes mais específicos ao longo da modelagem das usinas.

Assim sendo, a sugestão para trabalhos futuros envolve a análise mais profunda e a determinação de condições mais realistas, passando pela definição mais detalhada do poder calorífico das espécies de madeira encontradas nas proximidades; do maquinário, estrutura e mão de obra adequada para esse tipo de usina; das condições das estradas para o abastecimento das usinas; até simulações de investimento com condições mais próximas da realidade no que diz respeito aos impostos, índices de atualização monetária, juros cobrados nos financiamentos e participação nos leilões de energia.

No que diz respeito à questão ambiental, trabalhos futuros podem também quantificar as vantagens obtidas com a redução de GEE ao substituir termelétricas

dependentes de diesel por usinas que utilizam biomassa. A venda de créditos de carbono poderia ser uma forma de análise, apontando ainda mais vantagens para o empreendimento.

Com relação à confiabilidade, uma possibilidade levantada pelo ONS foi manter o acionamento das usinas térmicas como forma de *backup* no caso de interrupção do fornecimento aos municípios acreanos em questão. Uma sugestão de pesquisa seria a análise técnica e econômica da atuação de usinas movidas a biomassa de resíduo madeireiro como *backup* após a interligação dessas localidades ao SIN.

Por último, seria de grande valia pensar em formas de baratear a geração de energia por meio dessas usinas dependentes de resíduo de madeira. O estudo de tecnologias mais eficientes e de meios mais adequados para a logística da biomassa, tendo em vista seu alto custo no caso de Cruzeiro do Sul, teria como foco maior possibilitar tarifas módicas à população local.

Referências

ACRE. Governo do Estado do Acre. Secretaria de Estado de Planejamento - SEPLAN. **Acre em Números**. Rio Branco, Acre. SEPLAN, 2017, 92 p. Disponível em: <http://acre.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/acre-em-numeros-2017.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2022.

ACRE. **Maior madeira do Acre inaugura em outubro, em Manoel Urbano**. 2015. Disponível em: <https://agencia.ac.gov.br/maior-madeira-do-acre-inaugura-em-outubro-em-manoel-urbano/>. Acesso em: 17 dez. 2021.

ANEEL. Diretoria Colegiada. Módulo 1 - Glossário das Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica - Anexo I da Resolução Normativa ANEEL nº 1.005, de 15 de fevereiro de 2022. Altera a Resolução Normativa ANEEL nº 905, de 8 de dezembro de 2020, que estabelece as regras dos serviços de transmissão de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Regras de Transmissão, formada a partir da Consolidação da Regulamentação dos Serviços de Transmissão, revoga as Resoluções Normativas nº 861, de 26 de novembro de 2019, nº 873, de 3 de março de 2020; nº 884, de 9 de junho de 2020 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 160, n. 37, p. 58, 22 de fevereiro de 2022. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren20221005_2.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

ANEEL. **Conta de Desenvolvimento Energético**. 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZDBINjg1N2ltYjIhOC00YmVhLTlkMWQtNzkzZWYyYzRINDgyliwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 16 mar. 2022.

ANEEL. **Resultado de Leilões**. 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/resultados-de-leiloes>. Acesso em: 08 fev. 2022.

ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. 2021a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 22 dez. 2021.

ANEEL. 2018. Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade. Processo nº 48500.001764/2018-45. Assunto: Instrução de Processo de Caducidade - CC 009/2014 (Código SIGET nº T2014-020) - LT 230 KV Rio Branco – Feijó e Feijó – Cruzeiro do Sul - SES Feijó e Cruzeiro do Sul 230/69 KV. **ANEEL - Consulta Processual**. Brasília - DF, 16 de abril de 2018.

ARNALDO CARNEIRO FILHO, Marcelo M. R. Moreira; BRASIL, Instituto Acende. **Avaliação do potencial de geração de eletricidade a partir de madeira no Brasil**. [s. l.], p. 50, 2017. Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/publicacoes/avaliacao-do-potencial-de-geracao-de-eletricidade-a-partir-de-madeira-no-brasil/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

BANCO CENTRAL. **Focus - Relatório de Mercado - Março**. 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/focus/focus/R20220325.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2022.

BANCO CENTRAL. **Índices de preços.** 2022a. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/indicepreco>. Acesso em: 08 abr. 2022.

BANCO CENTRAL. **Taxa Interna de Retorno Contratual.** 2018. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/conteudo/relatorioinflacao/EstudosEspeciais/EE056_Taxa_Interna_de_Retorno_Contratual.pdf. Acesso em: 04 abr. 2022.

BANCO MERCEDES-BENZ. **Mercedes-Benz vende 53 caminhões extrapesados Axor para Budel Transportes.** 2015. Disponível em: <https://www.bancomercedes-benz.com.br/sala-de-imprensa/release/caminhoes/mercedes-benz-vende-53-caminhoes-extrapesados-axor-para-budel-transportes-103100>. Acesso em: 31 jan. 2022.

BEZERRA, Erick Costa *et al.* **Conversão de Energia.** Porto Alegre: SAGAH, 2018. ISBN 978-85-9502-547-9.

BNDES. **Fundo Clima.** 2022. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BNDES. **Fundo Clima - Subprograma Energias Renováveis.** 2022a. Disponível em: encurtador.com.br/bsxPT. Acesso em: 10 abr. 2022.

BNDES. **Taxa de juros.** 2022b. Disponível em: encurtador.com.br/qKLM6. Acesso em: 10 abr. 2022.

BNDES. **Taxa de Longo Prazo - TLP.** 2022c. Disponível em: encurtador.com.br/jFM78. Acesso em: 10 abr. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Edital do Leilão nº 02/2019-ANEEL.** Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, [2019]. Assunto: Licitação para a contratação de serviço público de transmissão de energia elétrica, incluindo a construção, operação e manutenção das instalações de transmissão da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_transmissao/documentos/Edital_Leil%C3%A3o_02_2019-TRANSM_VF.pdf. Acesso em: 17 mar. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 7.246, de 28 de julho de 2010.** Regulamenta a Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009, que dispõe sobre o serviço de energia elétrica dos Sistemas Isolados, as instalações de transmissão de interligações internacionais no Sistema Interligado Nacional - SIN, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7246.htm. Acesso em: 15 mar. 2022.

BRASIL. **Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004.** Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2004]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/10.847.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998.** Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas

Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [1998]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm. Acesso em: 22 mar. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. **Portaria nº 500, de 17 de dezembro de 2018**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 17 dez. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56126957. Acesso em: 17 mar. 2022.

CANAL ENERGIA. **UTE Onça Pintada terá engenharia detalhada de multinacional finlandesa**. 2019. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53097631/ute-onca-pintada-tera-engenharia-detalhada-de-multinacional-finlandesa>. Acesso em: 12 abr. 2022.

CCEE. **Contas Setoriais - CDE**. 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/contas-setoriais/conta-de-desenvolvimento-energetico-cde>. Acesso em: 16 mar. 2022.

CCEE. **Resultados do Leilão - 008/2021-ANEEL - Resumo Vendedor**. 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Resultados_Leilao_8-2021-A-5.pdf. Acesso em: 08 fev. 2022.

COELHO, Suani Teixeira *et al.* Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO, Convênio 007/2005 – MME. **Atlas de Bioenergia do Brasil**, São Paulo, p. 1–54, 2008. Disponível em: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/livro_atlas_de_bioenergia_2008.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

CONTRERAS, John Sebastian Cuervo; BORDA, Jhon Alexander Guzmán. **Determinación del potencial energético de la biomasa residual forestal (BRF) y de cultivos energéticos (BRCE) en las amazonas colombo-brasileño**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia Mecânica) - Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2020. Disponível em: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24301/CuervoJohnGuzmanJhon2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 dez. 2021.

CORDEIRO, Luana; NOLASCO, Adriana Maria. Diagnóstico da geração de resíduos madeireiros na serraria da empresa Agrocortex – Manoel Urbano - AC. In: **Anais da I Semana de Aperfeiçoamento em Engenharia Florestal da UFPR**. [s. l.], p. 1–62, 2017. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/iseaflor/53157-diagnostico-da-geracao-de-residuos-madeireiros-na-serraria-da-empresa-agrocortex--manoel-urbano--ac/>. Acesso em: 17 dez. 2021.

COSTA, Dáfix Dantas *et al.* Gerenciamento De Resíduos Sólidos Do Pólo Industrial Madeireiro De Cruzeiro Do Sul, Acre. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade**, [s. l.], p. 425–441, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/200801143>. Acesso em: 19 dez. 2021.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. Produção de florestas energéticas. In: SANTOS, F. *et al.* **Bioenergia e Biorrefinaria: cana de açúcar e espécies florestais**. Viçosa: Os Editores, 2013.

ENTSO-E. **Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects. Final - approved by the European Commission.** [s. l.], p. 71, 2018. Disponível em: <https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/tyndp-documents/Cost%20Benefit%20Analysis/2018-10-11-tyndp-cba-20.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

EPE. **Balanço Energético Nacional - BEN 2021.** Empresa de Pesquisa Energética, [s. l.], p. 268, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-596/BEN2021.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

EPE. **Estudos para Expansão da Transmissão: Integração de Cruzeiro do Sul e Feijó ao Sistema Interligado Nacional.** Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-276/topico-467/EPE-DEE-RE-009_2019-rev2%20-%20Integra%C3%A7%C3%A3o%20Cruzeiro%20do%20Sul%20e%20Feij%C3%B3%20ao%20SIN.pdf. Acesso em: 16 mar. 2022.

EPE. **Nota Técnica - Projeções dos Preços dos Combustíveis Líquidos para Atendimento aos Sistemas Isolados e Usinas da Região Sul em 2022.** Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2021a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-631/NT-DPG-DEE-02-2021_Proje%C3%A7%C3%A3o%20Pre%C3%A7os%20Combust%C3%ADveis%20para%20o%20SI_2021.10.05.pdf. Acesso em: 16 mar. 2022.

EPE. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2022 – 2026 Ciclo 2021.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-652/EPE-NT-Planejamento%20SI-Ciclo_2021_r2.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

FOLHA DE S. PAULO. **Custo de subsídios dispara e pode elevar em até 4,6% a conta de luz.** Rio de Janeiro. 27 abr. 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2022/04/custo-de-subsidios-dispara-e-pode-elevar-em-ate-46-a-conta-de-luz.shtml>. Acesso em: 03 mai. 2022.

G1. **Cidade do Acre está entre as dez com maior área de exploração madeireira, aponta relatório.** G1 Acre, Rio Branco, 6 set. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/ac/acre/natureza/amazonia/noticia/2021/09/06/cidade-do-acre-esta-entre-as-dez-com-maior-area-de-exploracao-madeireira-aponta-relatorio.ghtml>. Acesso em: 23 dez. 2021.

GANIM, Antonio. **Setor Elétrico Brasileiro: aspectos regulamentares, tributários e contábeis.** Rio de Janeiro: Synergia, 2019. Disponível em: <https://ganimadvogados.com.br/wp-content/uploads/2016/11/livro-2a-edi%C2%BA%C3%BAo-vers%C3%BAo-publicada.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GOMES, Layane de Souza. **Avaliação do Potencial Energético Aplicado a uma Usina Termelétrica de Fontes Renováveis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília - Faculdade do Gama, Brasília, 2016. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15045/1/2016_LayaneDeSouzaGomes.pdf. Acesso em: 19 dez. 2021.

GUIA DO TRC. **Especificação Axor 2644**. 2009. Disponível em: http://www.guiadotrc.com.br/logis/especificacao_axor_2644.pdf. Acesso em: 31 jan. 2022.

IBGE. **Cidades e Estados - Cruzeiro do Sul**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ac/cruzeiro-do-sul.html>. Acesso em: 17 mar. 2022.

IMAFLOA. **Exploração madeireira no Acre está concentrada em apenas 10 imóveis rurais**. 11 dez. 2021. Disponível em: <https://www.imaflora.org/noticia/exploracao-madeireira-no-acre-esta-concentrada-em-apenas-10-imoveis-rurais>. Acesso em: 23 dez. 2021.

IMAZON. **Desmatamento na Amazônia cresce 29% em 2021 e é o maior dos últimos 10 anos**. 17 jan. 2022. Disponível em: <https://amazon.org.br/imprensa/desmatamento-na-amazonia-cresce-29-em-2021-e-e-o-maior-dos-ultimos-10-anos/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

IRENA. **Renewable capacity statistics 2021 Statistiques de capacité renouvelable 2021 Estadísticas de capacidad renovable 2021**. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>. Acesso em: 30 mar. 2022

LIMA JÚNIOR, Claudemiro De *et al.* Viabilidade Econômica do Uso Energético de Lenha da Caatinga sob Manejo Sustentável (Economic Viability of the Energetic Use of the Wood from Caatinga Under Sustainable Forest Management). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 156, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8i1.233582>. Acesso em: 23 fev. 2022.

LENTINI, Marco *et al.* Amazonas, o gigante florestal brasileiro: desafios e oportunidades para o uso e a conservação das florestas naturais de produção. **IMAFLOA - Revista Timberflow**, [s. l.], n. 5 p. 1–20, 2021. Disponível em: https://www.imaflora.org/public/media/biblioteca/timberflow_5_final.pdf. Acesso em: 23 dez. 2021.

LIMA, J. W. M.; MENDES, P. P. D. C. **Centrais Termelétricas e o Sistema Elétrico**. 2004. In: LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, v. 2.

LIMA, Michael Douglas Roque. **A segregação de resíduos do manejo florestal sustentável para otimização da produção bioenergética na Amazônia brasileira**. 206 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, 2020. Disponível em: https://ppgcf.ufra.edu.br/images/dissertacoes/michael_douglas.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

LORA, E. E. S. **Centrais Termelétricas a Vapor**. 2004. In: LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, v. 2.

LPF. **Serviço Florestal Brasileiro**. 2021. Disponível em: <https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 19 dez. 2021.

MIRANDA, M. A. S. et al. Eucalyptus sp. woodchip potential for industrial thermal energy production. **Revista Árvore**, v. 41, n. 6, 30 nov. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/7Xf6VKXqfNCNdZJPzYwkJPS/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

MME. **Boletim Mensal Sobre os Subsídios da União**. Edição 7, abril/2019. Brasília. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/publicacoes/subsidios-da-uniao/boletim/07-boletim-mensal-sobre-os-subsidios-da-uniao-conta-de-desenvolvimento-energetico/view>. Acesso em: 16 mar. 2022.

MME/EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. **Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética**, [s. l.], v. 1, p. 447, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE2030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 16 mar. 2022.

MOTOR SHOW. **Diesel fica 50% mais caro ante 2020; preço chega a ultrapassar R\$ 6**. 2022. Disponível em: <https://motorshow.com.br/diesel-fica-50-mais-carro-ante-2020-preco-chega-a-ultrapassar-r-6/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

NASCIMENTO, M. A. R. *et al.* **Fundamentos da Geração Termelétrica**. 2004. In: LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, v.1.

NASCIMENTO, M. D.; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação energética do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 3, p. 104–117, 2010.

ONS. **A expansão da transmissão**. 2022. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/energia-no-futuro/transmissao/expansao>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ONS. **Mapa Dinâmico do SIN**. 2022a. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ONS. **O Sistema Interligado Nacional**. 2022b. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ONS. **Plano Anual da Operação Energética dos Sistemas Isolados - PEN SISOL 2022**. Rio de Janeiro, p. 1-44, 2022c. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/DPL-REL-0386-2021%20-%20PEN%20SISOL%202022.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ONS. **Plano SISOL 2022 - Sumário Executivo**. Rio de Janeiro, p. 1-31, 2022d. Disponível em: <http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Revista%20-%20PEN%20SISOL%202022.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

ONS. **Resultados da Operação: Qualidade do Suprimento**. 2022e. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/qualidade-do-suprimento>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ONS. **Submódulo 1.2 - Glossário dos Procedimentos de Rede**. 2020. Disponível em: https://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%201.2-PR_2020.12.pdf. Acesso em: 23 mar. 2022.

PADOVEZE, Clóvis L. **Introdução à Administração Financeira - 2ª Ed.** Cengage Learning Brasil, 2013. São Paulo. ISBN 9788522114702. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522114702/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

PINHEIRO, Giorgiana Freitas *et al.* Densidade Energética de Resíduos Vegetais. **Revista Biomassa & Energia**, [s. l.], v. 2, n. 2 p. 113–123, 2005. Disponível em: <http://www.lippel.com.br/dados/download/02-05-2014-15-30Densidade-Energetica-de-Residuos-Vegetais.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2021.

PIRES DA PONTE, Gustavo. **Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados: desafios e propostas para aumento da participação de fontes renováveis com base em uma análise multicritérios**. [s. l.], p. 164, 2019. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4828/1/1%20ba%20Lugar%20-%20Gustavo%20Pires%20da%20Ponte%20-%2020121capa.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

PREILIPPER, Udimara Erica Mattei *et al.* Aproveitamento do resíduo madeireiro na produção de energia termoeletrica no município de Marcelândia-MT. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 36, p. 411–428, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v36i0.39802>. Acesso em: 10 fev. 2022.

PROVDANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar De. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. [S. l.: s. n.], 2013. ISSN 1098-6596. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

QUIRINO, Waldir F. *et al.* Poder Calorífico Da Madeira E De Materiais Ligno-Celulósicos. **Revista da Madeira**, [s. l.], v. 89, p. 100–106, 2005. Disponível em: <http://www.lippel.com.br/dados/download/05-05-2014-10-46poder-calorifico-da-madeira-e-de-materiais-ligno-celulosicos.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2021.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**. 3ª ed. Barueri: Manole, 2017. ISBN: 978-65-557-6224-2.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manole, 2005.

RIBEIRO, Gabriel Browne de Deus. **Análise técnica e econômica da produção de energia termelétrica a partir da biomassa florestal**. 2018. 106f. Dissertação

(Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/19709>. Acesso em: 10 fev. 2022.

RIBEIRO, Henrique Frazão. **Análise do comportamento de usinas termelétricas no Sistema Interligado Nacional**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029173.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SAMPAIO, André Lawson Pedral; PEREIRA, Guilherme Armando de Almeida. Termelétricas e seu papel na matriz energética brasileira. **Caderno Opinião – FGV Energia**. Fevereiro, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10438/20398>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SERATTO, Celso Daniel. **Viabilidade econômica de um projeto de produção de energia elétrica via biomassa florestal: estudo de caso a partir da Usina Santa Terezinha de Paracity**. Maringá, 2010. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3456>. Acesso em: 11 fev. 2022.

SIMEX. **Mapeamento da exploração madeireira em Rondônia – Agosto 2019 a Julho 2020**. Belém, 2021. Disponível em: https://imazon.org.br/wp-content/uploads/2021/10/Simex_Rondonia_Agosto2019-Julho2020.pdf. Acesso em: 23 dez. 2021.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. ISBN 978-85-60025-05-3. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-173/Energia%20Termel%C3%A9trica%20-%20Online%2013maio2016.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2022.

TRANSPORTE MUNDIAL. **Mercedes lança Axor 3344 8x4 para atender setor florestal**. 2018. Disponível em: <https://transportemundial.com.br/axor-mercedes-florestal/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Editora Atlas, 2016.

VIANA, Nádia Alves *et al.* Gaseificação da casca do Jatobá-do-Cerrado: caracterização e comparação entre simulação e ensaios laboratoriais. **Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE)**. *Revista Brasileira de Energia*, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 82–103, 2017. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/377/358>. Acesso em: 19 dez. 2021.