

Modelo de domínio das tecnologias de conversão de energia

Letícia Morato Torres

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial no ramo de Engenharia Mecânica no âmbito da dupla diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Orientadores:

Professor Doutor Luis Frólén Ribeiro

Professor Doutor José Eduardo Moreira Fernandes

Professor Doutor Fernando Antonio Rodrigues Filho

Bragança

Junho de 2020

Modelo de domínio das tecnologias de conversão de energia

Letícia Morato Torres

Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e Gestão para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial no ramo de Engenharia Mecânica no âmbito da dupla diplomação com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Orientadores:

Professor Doutor Luis Frólén Ribeiro

Professor Doutor José Eduardo Moreira Fernandes

Professor Doutor Fernando Antonio Rodrigues Filho

Bragança

Junho de 2020

Dedicatória

A meus pais, meus amigos, professores e Deus.

Abstract

The work aims to systematize the scientific and technical information related to the theme "energy conversion technologies" in a standard approach to clarify and facilitate knowledge on the subject by experts and non-experts people. For this, an ontological research on energy conversion technologies was carried out and the concepts raised were grouped in the form of a class diagram. The UML (Unified Modeling Language) is used to represent the entities in the domain and the association between the entities through the ASTAH UML tool. The main classes of the diagram are: resource, conversion technology, service, principle, socio-environmental impact, legislation and risk. In view of the classes, the associations between them are described and the attributes are explored. Each conversion technology is evaluated by the resource it uses and the energy service it generates. The attributes of the classes include technical limitations, investment cost, economic performance, installed capacity, technological maturity, among others. The proposed model is applied, from which classes and attributes can be expanded, in two different cases of conversion technologies: the Horizontal Axis Turbine *Onshore* (HAWT) and the Ocean Thermal Energy Converter (OTEC).

Keywords: ontology; systematization; class diagram; energy conversion technologies; resources; services.

Resumo

O trabalho visa sistematizar as informações científicas e técnicas relacionadas ao tema "tecnologias de conversão de energia" em uma abordagem padrão para clarificar e facilitar o conhecimento sobre o tema por pessoas especialistas e não especialistas. Para isso foi realizada uma pesquisa ontológica sobre as tecnologias de conversão de energia e os conceitos levantados foram agrupados na forma de diagrama de classes. A UML (Unified Modeling Language) é usada para representar as entidades do domínio e a associação entre as entidades através da ferramenta Astah UML. As principais classes do diagrama são: recurso, tecnologia de conversão, serviço, princípio, impacto socioambiental, legislação e risco. Tendo-se em vista as classes, descreve-se as associações entre elas e explora-se os atributos. Cada tecnologia de conversão é avaliada pelo recurso que utiliza e pelo serviço de energia que gera. Os atributos das classes abrangem as limitações técnicas, custo de investimento, desempenho econômico, capacidade instalada, maturidade tecnológica, entre outros. Aplica-se o modelo proposto, do qual se pode expandir as classes e atributos, em dois casos diversos de tecnologias de conversão: a Turbina de Eixo Horizontal *Onshore* (HAWT) e o Conversor de energia térmica oceânica (OTEC).

Palavras-chave: ontologia; sistematização; diagrama de classes; tecnologias de conversão de energia; recursos; serviços.

Índice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 1.1 | Enquadramento | 1 |
| 1.2 | Estado da Arte | 3 |
| 1.2.1 | Trabalhos existentes no âmbito da ontologia e suas representações . | 3 |
| 1.2.2 | Revisão sobre a energia e suas tecnologias de conversão | 8 |
| 1.3 | Objetivos | 11 |
| 1.3.1 | Objetivos gerais | 11 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos | 11 |
| 1.4 | Organização da tese | 12 |
| 2 | Fundamentação teórica | 13 |
| 2.1 | Modelos de domínio | 13 |
| 2.1.1 | Linguagens de modelação | 13 |
| 2.2 | Ontologia e sua aplicação no tema de estudo | 19 |
| 2.3 | Sistema de conceitos das energias | 20 |
| 2.3.1 | Recursos naturais | 21 |
| 2.3.2 | Serviços | 31 |
| 2.3.3 | Tecnologias de conversão | 34 |
| 3 | Resultados e Discussão | 39 |
| 3.1 | Definição das principais classes e atributos | 39 |
| 3.2 | <i>Astah UML</i> | 42 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3 | O Modelo | 43 |
| 3.4 | Aplicações do modelo | 48 |
| 3.4.1 | Turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> (HAWT) | 48 |
| 3.4.2 | Conversor de energia térmica oceânica (OTEC) | 52 |
| 4 | Conclusão e Trabalhos futuros | 59 |
| 4.1 | Conclusão | 59 |
| 4.2 | Trabalhos futuros | 60 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Subclassificação dos critérios [6] | 7 |
| 2.1 | Componentes e seu percentual no Petróleo [45] | 31 |
| 2.2 | Tecnologias de conversão associadas a cada recurso e serviço [56] | 35 |
| 3.1 | Agrupamento dos conceitos de trabalhos existentes [4], [6], [12] | 41 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Representação da ontologia da energia eólica na forma de modelo conceitual [4] | 4 |
| 1.2 | Representação da ontologia do Sistema Fotovoltaico (PV) na forma de diagrama de classe [5] | 5 |
| 1.3 | Participação estimada de energias renováveis no consumo final mundial de energia em 2017 [10] | 10 |
| 1.4 | Fontes de energia renováveis, tecnologias e aplicações [11] | 10 |
| 2.1 | Diagramas UML [13] | 15 |
| 2.2 | Exemplo de um diagrama de classes | 18 |
| 2.3 | Exemplo de herança no diagrama de classes | 19 |
| 2.4 | Fluxograma do uso da energia primária para a obtenção do serviços [21] . . | 20 |
| 2.5 | Fluxo da conversão de energia | 21 |
| 2.6 | Esquematização da insolação na superfície terrestre [27] | 22 |
| 2.7 | Incidência solar nos solstícios de Inverno e de Verão, de acordo com a latitude [28] | 23 |
| 2.8 | Incidência solar nos solstícios de Inverno e de Verão, de acordo com a latitude [29] | 24 |
| 2.9 | Representação da potência por metro da frente de onda [32] | 25 |
| 2.10 | Recursos da biomassa, processo de conversão e produto final [10] | 26 |
| 2.11 | Estimativa anual global da potência das ondas em kW/m [39] | 28 |

| | | |
|------|---|----|
| 2.12 | Capacidade instalada de tecnologias de conversão de energia geotérmica e sua distribuição no mundo [41] | 29 |
| 2.13 | Esquema de uma reação em cadeia de fissão nuclear [42] | 30 |
| 2.14 | Escala de níveis de maturidade tecnológica [60] | 36 |
| 3.1 | Principais classes associadas às tecnologias de conversão de energia | 40 |
| 3.2 | Diagrama de classes sobre o recurso e tecnologia de conversão | 43 |
| 3.3 | Diagrama de classes sobre o recurso, tecnologia de conversão e seu uso . . | 44 |
| 3.4 | Diagrama de classes sobre o uso da tecnologia de conversão, seu risco, legislação e impacto socioambiental | 45 |
| 3.5 | Diagrama de classes sobre a tecnologia de conversão e serviço | 45 |
| 3.6 | Diagrama de classes sobre a tecnologia de conversão e serviço e seus princípios | 46 |
| 3.7 | Diagrama de classes dos principais conceitos sobre tecnologia de conversão de energia | 47 |
| 3.8 | Diagrama de objetos sobre recurso eólico e turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> | 48 |
| 3.9 | Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> | 49 |
| 3.10 | Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> e seu risco | 50 |
| 3.11 | Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> e seu impacto socioambiental | 50 |
| 3.12 | Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> e sua legislação | 51 |
| 3.13 | Diagrama de objetos sobre a turbina eólica de eixo horizontal <i>onshore</i> , o serviço gerado e seus princípios | 51 |
| 3.14 | Diagrama de objetos sobre os principais conceitos da HAWT <i>onshore</i> . . . | 52 |

| | |
|--|----|
| 3.15 Diagrama de objetos sobre o recurso oceano e a tecnologia de conversão OTEC | 53 |
| 3.16 Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC | 54 |
| 3.17 Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC e o seu risco | 54 |
| 3.18 Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC e o seu im- pacto socioambiental | 55 |
| 3.19 Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC e a sua legislação | 56 |
| 3.20 Diagrama de objetos da tecnologia de conversão OTEC, serviço e os seus princípios | 56 |
| 3.21 Diagrama de objetos sobre os principais conceitos do OTEC | 57 |

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Os avanços tecnológicos que ocorrem desde as épocas remotas permitiram a ampliação e descoberta de conhecimentos e técnicas para a geração e distribuição de energias renováveis. Paralelamente à preocupação com o desenvolvimento de novas formas sustentáveis para compor a matriz energética nacional e mundial, as fontes renováveis de energia ganharam espaço em discussões e pesquisas ao redor do mundo. Assim, surgem novos campos de conhecimento cujos conceitos muitas vezes não estão claros para a população em face ao uso de termos especializados sobre o assunto.

Certificar-se de que uma informação, serviço ou produto específico de um provedor *on-line*, jornais, revistas, livros, mídia e publicidade seja confiável pode ser uma tarefa árdua. A internet é um ambiente público no qual as pessoas têm permissão para preencher algumas informações de acordo com o seu ponto de vista. No entanto, essas informações geralmente são dispersas, enganosas, incompletas e sem fundamentação científica, de modo que a qualidade do conteúdo se torna questionável. Muitos conceitos e informações sobre tema de energia e sustentabilidade são frequentemente contraditórias, manipuladas, omitidas e fragmentadas pela mídia, políticos, fabricantes de tecnologia, prestadores de serviços e grupos ambientais de modo que a população detenha uma visão distorcida e

errônea da realidade do assunto.

Um exemplo disso é que, embora o Parlamento da União Européia tenha votado dobrar os níveis de energia renovável da Europa em 2015 até 2030, também permitiu que países, usinas de energia e fábricas cortassem árvores para queima, pois é qualificado como emissor de baixo carbono. A madeira que chega a uma usina emite cerca de 1,5 vezes mais o CO₂ do carvão e 3 vezes mais o CO₂ do gás natural [1]. A permissão para o crescimento de árvores pode auxiliar na reabsorção do carbono, mas por alguns anos uma floresta em crescimento absorve menos carbono do que se a floresta fosse deixada sem desmatamento, aumentando a dívida de carbono [1]. Um outro exemplo é a informação exagerada promovida pela mídia é a origem do conceito “Emergência climática”, proveniente da União Européia [2] e o cenário degradante que o mundo parece enfrentar atualmente.

Existem poucos trabalhos na literatura que organizam e sistematizam os principais conceitos sobre energias renováveis, incluindo os recursos existentes, tipos de tecnologias de conversão e serviço gerado. Outras dimensões também são de suma importância para a compreensão do assunto, como a disponibilidade geográfica do recurso, custo de instalação, quantidade de poluentes emitidos, custos do serviço, riscos associados a tecnologia de conversão, entre outros.

Uma proposta para a organização dos conceitos sobre tecnologias de conversão de energia é o modelo conceitual, também denominado modelo de domínio. Este consiste em um esquema gráfico de visualização intuitiva de conceitos estruturados por relações bem definidas bem como a hierarquia entre tais conceitos, o mapa conceitual inspira-se na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel que menciona que o ser humano organiza seu conhecimento através de uma hierarquização de conceitos [3].

Neste contexto, a pesquisa das ontologias e o uso de modelos de domínio podem contribuir significativamente para a área em desenvolvimento, produzindo um conteúdo especializado para auxiliar o desenvolvimento, organização, avanço dos estudos na área e que seja de fácil acesso à população.

1.2 Estado da Arte

Nesta secção serão abordadas as principais fontes de dados consistentes para a obtenção de informações sobre as energias e que portanto serão utilizadas ao longo da tese e os principais trabalhos existentes que tratam sobre a ontologia das tecnologias de conversão de energia e a representam na forma de diagrama de classes ou mapas conceptuais.

1.2.1 Trabalhos existentes no âmbito da ontologia e suas representações

Para acessar informações sobre ontologias relacionadas ao campo energético e trabalhos existentes que utilizam o diagrama de classes como forma de representar o tema, os termos "ontologia energética", "educação ontológica de energia" e "diagrama energético" foram pesquisados utilizando a ferramenta de pesquisa "Google".

O primeiro estudo encontrado relata o crescimento da participação da energia eólica na produção de eletricidade no mundo, o que justifica a necessidade de realizar a primeira ontologia de domínio de ampla cobertura para energia eólica para de se ter uma visão mais clara sobre o tema [4]. Os autores também justificam o fato de não haver muitos trabalhos sobre o assunto e apontam três estudos diferentes que tratam do assunto de uma maneira específica, diferente da visão mais geral sobre as usinas eólicas que pretendem desenvolver. A pesquisa utiliza artigos da enciclopédia online "Wikipedia" para construir uma ontologia do domínio da energia eólica. Para isso, os artigos mais relevantes da Wikipedia sobre o tema são levantados para se verificar as palavras e frases mais frequentes para de se obter os principais conceitos. Em seguida, esses conceitos são organizados através do relacionamento existente entre si para que a representação do diagrama de classes seja possível. As palavras mais frequentes¹ e sua respectiva frequência entre parênteses são: *wind* (346), *power* (149), *energy* (135), *wind power* (82), *turbine* (65), *capacity* (54), *wind energy* (51), *electricity* (50), *wind turbine* (45), *wind farm* (39), *grid* (36), *renewable*

¹As palavras serão mantidas na língua original do artigo, em inglês, para manter o sentido fiel da palavra

energy (22), capacity factor (16), offshore wind (15), offshore wind power (8), wind power capacity (4). Em seguida, esses dados foram agrupados em um diagrama de classes para se organizar as informações sobre o tema, como pode ser visto na Figura 1.1. No centro do diagrama está a classe "Wind Power Plant" (usina eólica), que possui os principais componentes representados pelas classes: torre meteorológica, turbina eólica, sistema de monitoramento e controle e sistema de previsão. A classe "Wind" (Vento) possui as principais características do recurso, como velocidade do vento, direção do vento, componente vertical do vento, componente horizontal do vento, cisalhamento do vento e turbulência. Existem basicamente sete tipos distintos de relações entre os conceitos descritos na legenda da Figura 1.1, como gerar, utilizar e controlar.

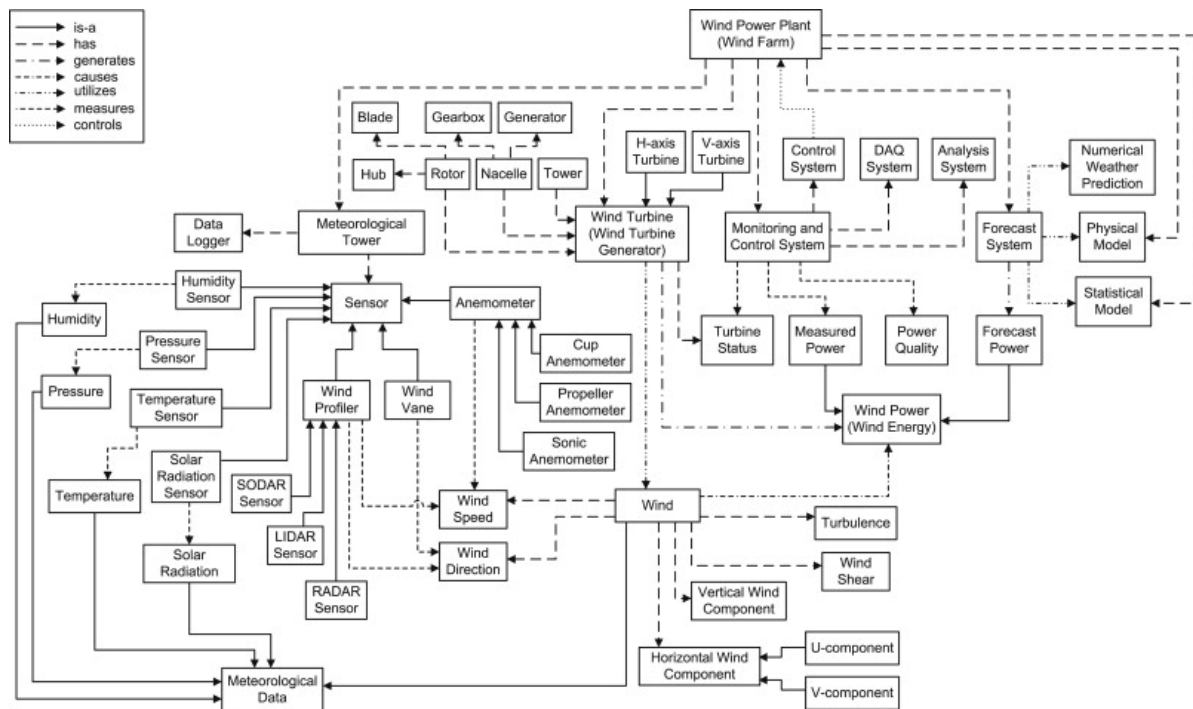


Figura 1.1: Representação da ontologia da energia eólica na forma de modelo conceitual [4]

Outro trabalho [5] realizado no campo da ontologia energética utiliza a justificativa de que os impactos das mudanças climáticas e a crescente procura por energia promoveram um aumento no uso de tecnologias de energia renovável no desenvolvimento de edifícios.

Dessa forma, essas tecnologias começaram a gerar uma grande quantidade de informações que geralmente sobrecarregam os usuários interessados e, portanto, dificulta a escolha informada sobre a escolha de sua aplicação. Este artigo investiga como Internet pode ser usada para expor informações e proporcionar o conhecimento sobre a tecnologia fotovoltaica e facilitar a tomada de decisões ao recomendar escolhas apropriadas para diferentes situações. Após a realização de uma pesquisa ontológica sobre o Sistema Fotovoltaico (PV), os conceitos levantados foram representados em um diagrama de classes, conforme a Figura 1.2.

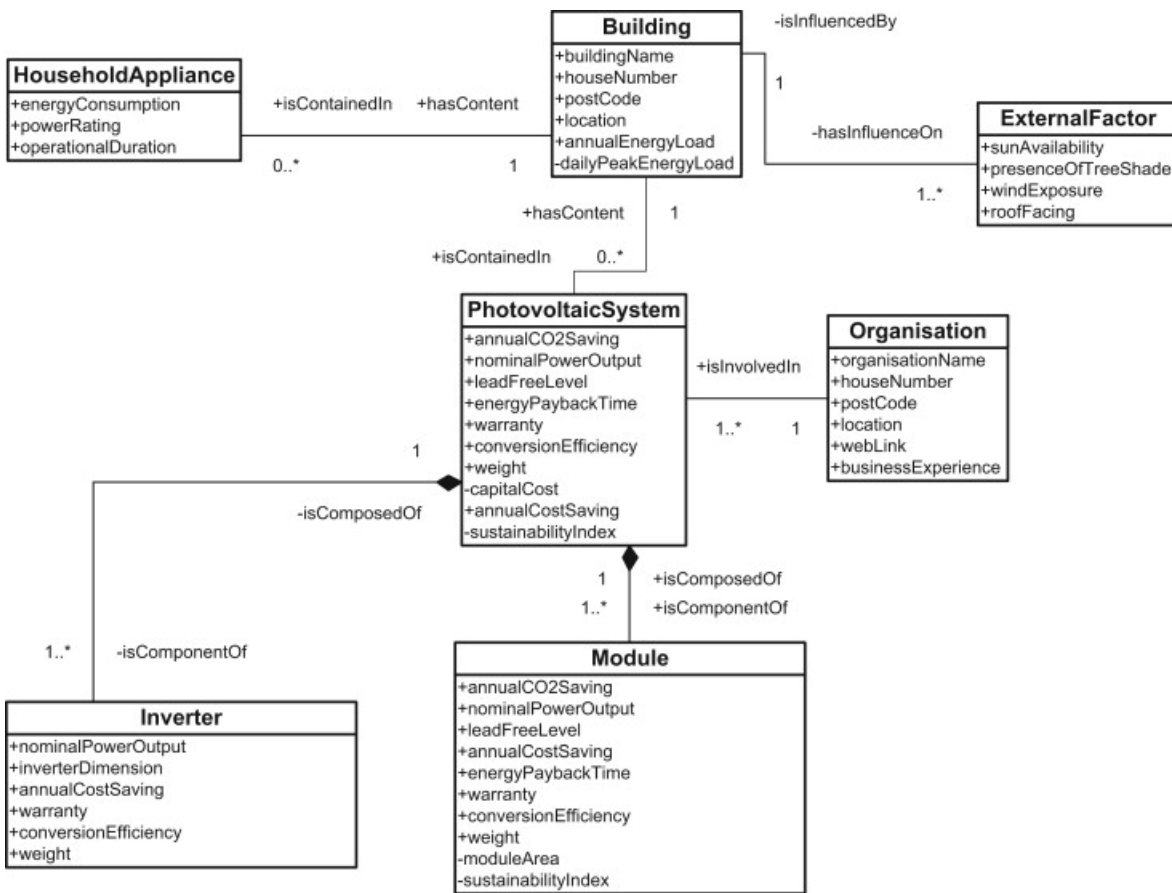


Figura 1.2: Representação da ontologia do Sistema Fotovoltaico (PV) na forma de diagrama de classe [5]

Os estudos mostrados acima são um ponto de partida para o levantamento de conceitos associados ao campo de conhecimento da energia e sua aplicação em diagramas. No

entanto, a ontologia proposta por esses dois artigos abrange fatos ou conceitos específicos relacionados às tecnologias de conversão e seus componentes. O objetivo deste trabalho não é tratar cada tecnologia de conversão e seus componentes individualmente, mas fornecer uma visão geral da escolha da energia primária até o uso final da energia.

Seguindo esse objetivo, outra pesquisa [6] aponta os principais aspectos de interesse na decisão de investir em energias renováveis. A preocupação que levou a este trabalho foi a diferença de opiniões e pontos de vista de vários e numerosos grupos de interesse. Esses indivíduos incluem instituições, autoridades administrativas, comunidades locais, investidores em potencial, grupos ambientais, instituições acadêmicas e governos que, por meio de suas prioridades e sistemas de avaliação, têm interesses em jogo e influenciam direta ou indiretamente o processo de tomada de decisão. Deste modo, o trabalho se baseia em amostra representativa de uma revisão bibliográfica de artigos de planejamento energético. Foram avaliados 183 artigos e realizada uma classificação destes de acordo com o ano de publicação, tipo de energia, área de aplicação, critérios e localização geográfica onde o estudo de caso foi realizado. Dos 183 estudos avaliados, 131 foram realizados entre 2005 e 2014 e os demais antes de 2005. De acordo com o trabalho, é de interesse conhecer os tipos de energia, que são a fonte primária, e os critérios, para que sejam apontados os principais conceitos sobre o tema de energia. Os tipos de energias primárias são os combustíveis convencionais, gás natural, e as energias nuclear, solar, eólica, hídrica, biomassa e geotérmica. Os critérios utilizados para avaliar projetos de planejamento energético na literatura são divididos principalmente em quatro aspectos: Técnico, Econômico, Ambiental e Social. A Tabela 1.1 contém os subcritérios mais frequentemente usados de cada critério. As percentagens dadas ao lado de cada critério denotam a frequência de ocorrência de cada critério no corpo da pesquisa.

Observa-se que “eficiência”, “capacidade instalada”, “custo de investimento”, “custo de operação e manutenção”, “emissões de CO₂”, “uso da terra”, “criação de emprego” e “aceitabilidade social” são os critérios fundamentais capazes de determinar a decisão das partes interessadas. Também é possível inferir que o custo do investimento e as emissões de CO₂ são preocupações frequentes nos estudos avaliados.

Tabela 1.1: Subclassificação dos critérios [6]

| Critério Técnico | Critério Econômico |
|----------------------------|--------------------------------|
| Eficiência | Custo de investimento |
| Confiabilidade | Custo de operação e manutenção |
| Disponibilidade do recurso | Custo da energia |
| Capacidade instalada (kW) | Período de <i>payback</i> |
| Maturidade | Retorno da taxa interna |
| Segurança | Custo do ciclo de vida |
| Produção de energia | Valor Presente Líquido |
| Demanda | Vida do serviço |
| Razão da energia primária | Custo Equivalente Anual |
| Continuidade | |
| Estabilidade | |
| Critério Ambiental | Critério Social |
| Emissão de CO ₂ | Criação de emprego |
| Uso da terra | Aceitabilidade Social |
| Impactos no ecossistema | Benefícios sociais |
| Emissão de NO _x | Impacto visual |
| Emissão de SO ₂ | Desenvolvimento local |
| Emissões (em geral) | Impactos na saúde |
| Poluição sonora | Renda dos empregos |
| Emissão de patículas | |

Um outro estudo [7] foi realizado acerca os principais conceitos mencionados quando se trata de energia renovável. Em um destes trabalhos, escolheu-se como fonte de dados cinco companhias de energia renováveis presentes na bolsa de valores [7]. Retirou-se de textos e artigos dessas empresas um total de 144 conceitos principais relacionados ao tema. Alguns deles são: clima, eficiência, energia, recurso, mundo, custo, demanda, desenvolvimento, combustível, segurança, eletricidade, biomassa, etanol, vento, água, capacidade, futuro, geração, ambiente, aplicação, entre outros.

Apesar de conter informações significativas sobre os atributos a serem considerados quando se trata de tecnologias de conversão de energia, o dois últimos artigos citados não se concentram em organizar essas informações em diagramas ou modelos conceituais.

Existem poucos trabalhos na literatura que reúnem os principais conceitos sobre energias renováveis no âmbito dos modelos conceituais, incluindo os recursos existentes, tipos

de tecnologias de conversão e serviço gerado. Através de uma análise voltada para a decisão de investimento em uma tecnologia de conversão de um recurso renovável, nota-se que outras dimensões também são de suma importância para a compreensão do assunto, como a capacidade instalada, quantidade de poluentes emitidos, custos do serviço, riscos associados à tecnologia de conversão, entre outros [6].

1.2.2 Revisão sobre a energia e suas tecnologias de conversão

Existem sites, aplicativos, relatórios, artigos e livros que são responsáveis por disponibilizar informações sobre o tema de energias à população.

Duas plataformas conhecidas e que possuem grande destaque são a IRENA² e a REN21³. REN21 é uma comunidade global de energia renovável de atores da ciência, governos, ONGs e indústria. São responsáveis por fornecer fatos, números e análises atualizados e revisados sobre os desenvolvimentos globais em tecnologia, políticas e mercados [8].

A Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) é uma organização intergovernamental que apoia os países em sua transição para um futuro sustentável da energia e fornece as seguintes informações na forma de relatórios e artigos [9]:

- Revisões anuais do emprego de energia renovável;
- Estatísticas de capacidade de energia renovável;
- Estudos de custos de energia renovável;
- Avaliações de prontidão para energias renováveis, realizadas em parceria com governos e organizações regionais, para ajudar a impulsionar o desenvolvimento de energia renovável em cada país;
- O Atlas Global, que mapeia o potencial de recursos por fonte e por localização;

²Disponível em: <https://www.irena.org/>

³Disponível em: <https://www.ren21.net/>

- Estudos de benefícios de energia renovável;
- Resumos de tecnologia de energia renovável;
- Facilitação do planejamento regional de energia renovável;
- Ferramentas de desenvolvimento de projetos de energia renovável, como o Project Navigator, o Sustainable Energy Marketplace e o IRENA/ ADFD Project Facility.

Os relatórios produzidos por estas organizações retratam o cenário atual das fontes de energia no mundo incluindo o seu consumo, capacidade instalada, empregos gerados no setor de energias renováveis, apostas e projeções do uso da energia. É de suma importância o conhecimento destes dados pela população, porém muitas vezes os conceitos básicos sobre energia como a distribuição geográfica do recurso no mundo, o custo-benefício da instalação de uma tecnologia de conversão e a maturidade da tecnologia não estão claros e facilmente disponíveis para a população.

Um exemplo de informação fornecida nos relatórios citados no parágrafo anterior está presente no Figura 1.3, através do qual é possível perceber que o consumo de energias renováveis totalizou 18,1% do total do consumo de energia no ano de 2017. O maior representante desta porcentagem foi a biomassa tradicional, que representou 7,50% seguida da energia renovável térmica (cerca de 4,2% do consumo total), pelas hidrelétricas (3,6%) e outras fontes renováveis de energia, incluindo energia eólica e energia solar fotovoltaica (2%) e biocombustíveis (cerca de 1%) [10].

O relatório anual de 2019 da REN21 ainda retrata o panorama atual de uma crescente procura de energia e emissão de poluentes. No ano de 2018, a procura global de energia aumentou 2,3%, o maior aumento percebido na década. Isso ocorreu por causa do forte crescimento econômico global (3,7%) sendo que a China, EUA e Índia correspondem a 70% do total do aumento da procura [10]. Em função disto, houve também um aumento no consumo de combustíveis fósseis e conseqüentemente um acréscimo na emissão de CO₂ na atmosfera (crescimento de 1,7% no ano de 2018) [10].

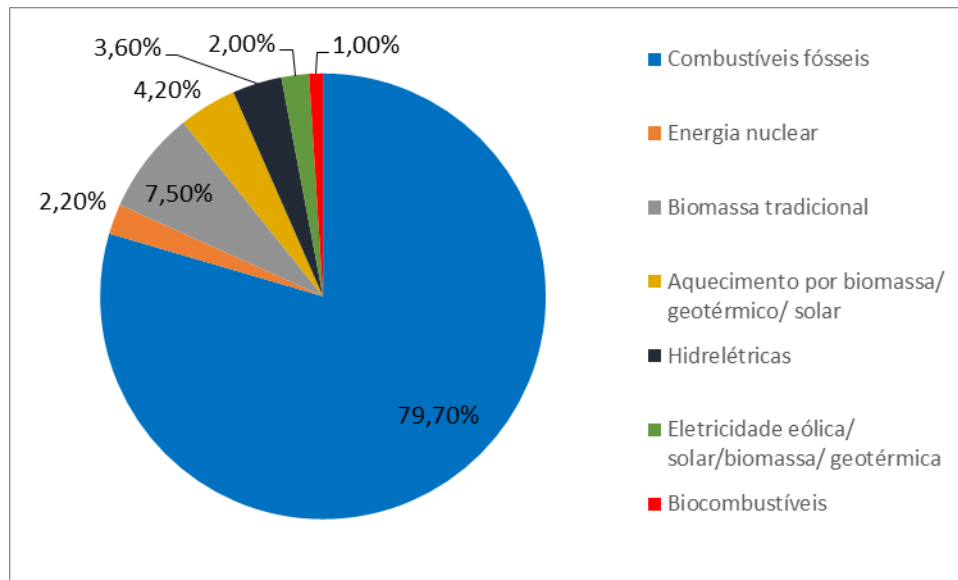


Figura 1.3: Participação estimada de energias renováveis no consumo final mundial de energia em 2017 [10]

Um outro relatório, o do Tribunal de Contas Europeu de 2018 reúne informações importantes acerca alguns recursos renováveis, tecnologias de conversão e principais serviços gerados [11]. Estes dados estão presentes na Figura 1.4.

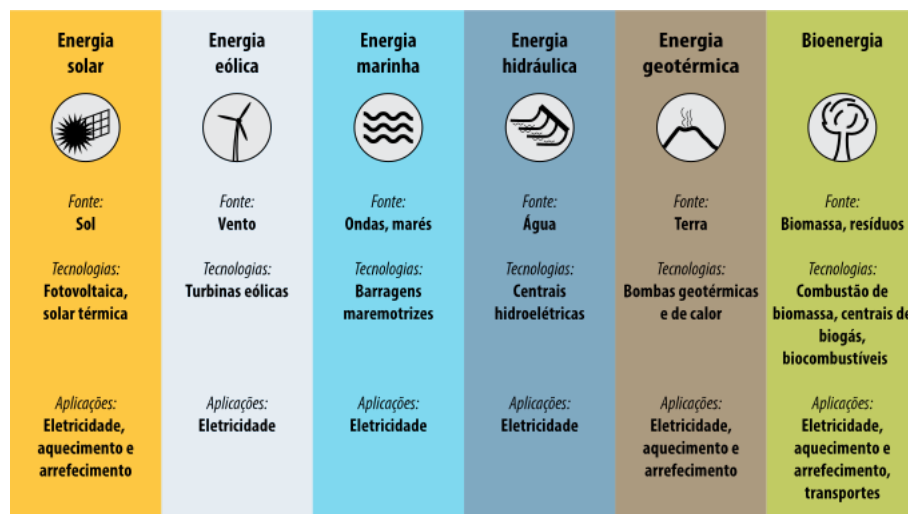


Figura 1.4: Fontes de energia renováveis, tecnologias e aplicações [11]

Existem também livros que abordam o assunto e são de suma relevância para a melhor compreensão do assunto a nível conceitual. Um deles trata-se do livro "Renewable Energy: Power for a Sustainable Future"[12] que examina o potencial prático e econômico das fontes de energia renováveis. Os princípios físicos e tecnológicos associados às fontes de energia solar direta (solar térmica e fotovoltaica), solar indireta (biomassa, hidrelétrica, eólica e de ondas) e não solar (de maré e geotérmica) são explicados, dentro do contexto de seus impactos ambientais, sua economia e suas perspectivas futuras. O livro fornece perspectiva e detalhes sobre os méritos relativos e o estado do progresso das tecnologias para a utilização das várias fontes renováveis. Para isso, analisa as emissões, sustentabilidade, implicações de custo e segurança energética.

1.3 Objetivos

Foi definido um objetivo geral e 4 objetivos específicos para a presente tese, que estão descritos adiante.

1.3.1 Objetivos gerais

Apresentar um Modelo de Domínio referente às energias renováveis e não renováveis com ênfase nas tecnologias de conversão como um contributo à sistematização do conhecimento sobre o assunto.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos encontram-se enumerados a seguir:

1. Levantar as principais terminologias associadas ao âmbito das energias;
2. Descrever, organizar e sistematizar os conceitos buscados, para clarificar a sua definição;
3. Estabelecer as relações existentes entre os conceitos;

4. Utilizar uma das linguagens de modelagem existentes para agrupar as terminologias, de acordo com as relações estabelecidas, na forma de um Modelo de Domínio.

1.4 Organização da tese

A tese está organizada em 5 capítulos. O Capítulo 1 refere-se à introdução e tem como objetivo apresentar um enquadramento, motivação, justificativa, objetivos e a relevância e organização deste trabalho. Além disso, é apresentado neste capítulo o Estado da Arte no qual são levantados os principais trabalhos, livros e sites existentes no que diz respeito aos principais conceitos existentes sobre o tema "Tecnologias de conversão de energia" e que possuem aplicação na forma de diagrama de classes.

No Capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica da literatura sobre os conceitos principais e exemplos de recursos naturais, tecnologias de conversão de energia e serviços obtidos.

O Capítulo 3 trata dos Resultados e Discussão. Demonstra-se o modelo final, contendo as principais classes, associações, atributos e multiplicidades. Ainda neste capítulo, o modelo é aplicado a duas diferentes tecnologias de conversão na forma de diagrama de objetos para exemplificar o seu funcionamento considerando recursos, tecnologias e maturidade tecnológica distintos.

Por fim, no Capítulo 4, são abordadas as conclusões da tese e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação teórica

2.1 Modelos de domínio

O abordagem sistêmica é uma criação do pensamento humano com o objetivo de ajudar a compreender e lidar com um fenômeno complexo. Trata-se da concepção ou de um modelo mental de um sistema qualquer. Estes sistemas são por sua vez representados através de modelos, diagramas e linguagens de modelação.

Os modelos nada mais são que a representação de um sistema reduzido aos aspectos essenciais, para minimizar a complexidade do sistema e torná-lo gerível. Um sistema geralmente não é descrito por uma única percepção, mas por vários pontos de vista que juntos produzem uma imagem geral unificada. Assim, uma visão pode descrever os objetos envolvidos e seu relacionamento um com o outro, e outra visão pode descrever o comportamento de um grupo de objetos ou apresentar as interações entre objetos diferentes [13].

2.1.1 Linguagens de modelação

As linguagens de programação como Java e C++ são utilizadas para desenvolver aplicações informáticas. Uma outra classe de linguagens é frequentemente utilizada nos bastidores para comunicar o design e os conceitos necessários para construir os aplicativos com

os clientes e desenvolvedores. Estas são conhecidas como linguagens de modelação e são usadas para descrever o design geral, a arquitetura e as exigências de grandes projetos de desenvolvimento [14].

As linguagens de modelação são utilizadas para a descrição de ideias abstratas e pela comunicação dos projetos e conceitos entre a equipe de Gestão de Negócios e o desenvolvedor. Em uma sequência de projetos de software tradicional, a equipe deve concluir análise e projeto antes do início da programação. Assim, os analistas criam os modelos, diagramas ou gráficos como parte da fase de projeto. A programação se inicia quando o projeto é aprovado pelas partes interessadas [14].

Atualmente, muitas linguagens modernas assentam no paradigma da Orientação a Objetos (OO). Pode-se afirmar que a orientação a objetos vem antes mesmo da engenharia, ou até da tecnologia. Os mecanismos que o cérebro humano utiliza para pensar e ver o mundo são totalmente orientados a objetos. Nota-se isso ao categorizarmos e agrupamos os elementos na nossa percepção para poder compreendê-los, exatamente como se faz em uma análise orientada a objetos [15].

Para representar um software deve-se utilizar uma notação que seja capaz de dar o entendimento ao programador do que deve ser implementado com a linguagem de programação. E para ser eficaz, essa notação também precisa ser compreendida pelos analistas, responsáveis por identificar e modelar os requisitos do que será entregue como solução. No âmbito do desenvolvimento orientado a objetos, a linguagem de modelação mais utilizada é a UML (Linguagem Unificada de Modelação) [15].

A UML, que surge nos anos 90, passa a ser então uma tentativa de padronizar a modelação orientada a objetos para que qualquer sistema possa ser modelado corretamente, com consistência e de fácil compreensão. As partes que compõe a UML são: Visões, Elementos de Modelos e Diagramas [16].

As Visões mostram diferentes aspectos do sistema que está sendo modelado. É a ideia inicial do que será desenvolvido no software tendo-se em vista basicamente premissas: quem utilizará o software, a sua finalidade e o por quê será desenvolvido. As visões também podem indicar qual o tipo de linguagem de modelação que será utilizado [13]

[16].

Os conceitos usados nos diagramas são elementos de modelos que representam definições comuns da orientação a objetos como as classes, objetos, mensagens, relacionamentos entre classes incluindo associações, dependências e heranças [16].

Os Diagramas são responsáveis por retratar o conteúdo de uma visão. A UML possui quatorze tipos de diagramas que são usados em combinação para prover todas as visões do sistema. Os diagramas estão divididos em dois grupos: sete diagramas que representam a estrutura estática da aplicação e sete que representam diferentes aspectos associados a dinâmica da aplicação, conforme representado na Figura 2.1 [16].

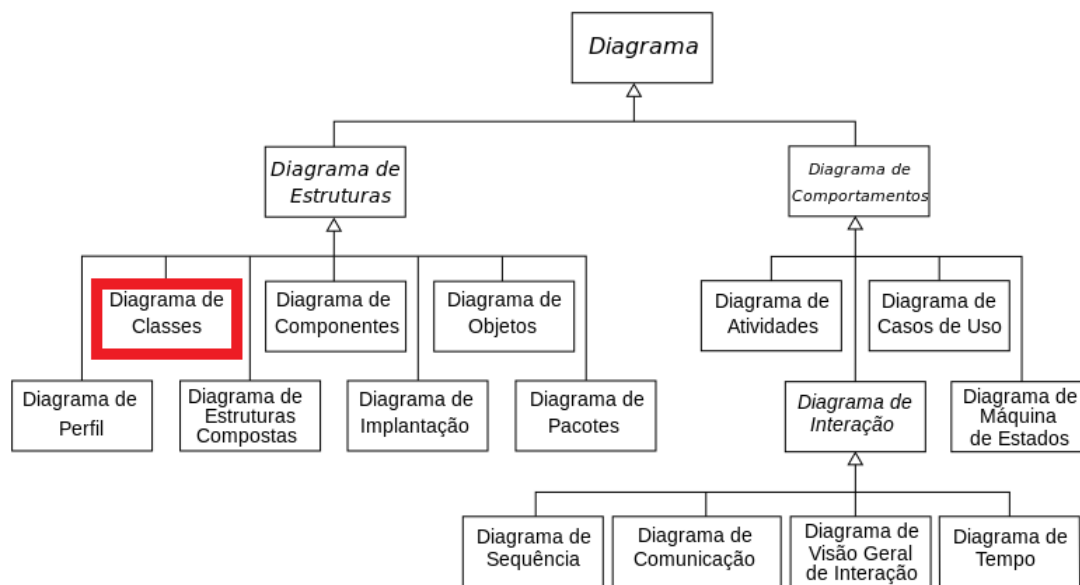


Figura 2.1: Diagramas UML [13]

Os diagramas estruturais mostram a estrutura estática do sistema que está sendo modelado para focar nos elementos de um sistema sem restrição de tempo. A estrutura estática é transmitida mostrando os tipos e suas instâncias no sistema. Além de mostrar os tipos de sistema e suas instâncias, os diagramas de estrutura também mostram pelo menos alguns dos relacionamentos entre esses elementos e até mesmo podem mostrar suas estruturas internas [13].

Os diagramas de comportamento permitem prever a evolução do estado e/ou do comportamento da entidade/situação. Assim, os elementos de tal modelo são normalmente variáveis com relação ao tempo e exigem uma abordagem sistêmica. Geralmente estão associados a interações entre os objetos na execução da operação conforme o tempo [13].

Os cinco tipos de diagrama mais importantes e mais usados são: diagrama de casos de uso, diagrama de classes, diagrama de máquina de estados, diagrama de sequência e diagrama de atividades [13].

Neste trabalho, o diagrama de classes será utilizado uma vez que, apesar da natureza de alguns dados variarem com o tempo, será considerada a natureza dos dados como sendo estática, ou seja, o objetivo do seu uso é propiciar às pessoas informações claras e consistentes sobre as energias e suas tecnologias de conversão. Além disso, a utilização e compreensão deste tipo de diagrama é bastante simples pois não leva em consideração as mudanças das entidades e relação entre elas em função do tempo. Desta maneira, serão abordadas a seguir as definições básicas necessárias para a elaboração de um diagrama de classes, que também são a base da linguagem de modelação orientada a objetos.

Fundamentos básicos do diagrama de classes

Um sistema contém inúmeros indivíduos diferentes. Os indivíduos podem ser não apenas pessoas, mas também animais, objetos inanimados, entre outros, que podem ser identificados exclusivamente através de características únicas [13].

Muitos objetos que aparecem em um sistema têm características e comportamento idênticos. Por exemplo, as pessoas sempre têm um primeiro nome, um sobrenome ¹ e data de nascimento. Desta maneira, estes objetos podem ser agrupados na forma de classe. Os objetos são representações concretas das classes e são referidos como as suas instâncias [13].

As características das instâncias incluem suas características estruturais (atributos) e o seu comportamento (na forma de operações). Um atributo de uma classe permite

¹Como a tese está escrita em português brasileiro, utiliza-se o termo "sobrenome", que em português de Portugal pode ser definido como "apelido"

armazenar informações sobre uma propriedade comum a todas as instâncias, mas que geralmente possuem valores específicos diferentes para cada instância. As operações representam um comportamento específico que pode ser acionado em objetos individuais [13].

Em um diagrama de classes, uma classe é representada por um retângulo que pode ser subdividido em vários compartimentos. O primeiro compartimento deve conter o nome da classe (nome no singular, por convenção), o segundo compartimento do retângulo contém os atributos da classe e, o terceiro compartimento, as operações da classe. Os dois compartimentos inferiores são opcionais, ou seja, seriam desnecessários em um diagrama que ilustrasse um nível mais alto de detalhes, quando o propósito fosse mostrar somente o relacionamento entre as instâncias.

Os atributos são geralmente apresentados no formato: nome: tipo de atributo. O tipo de atributo pode ser um número inteiro, horas, texto, entre outros e pode ser visível ou não. Como os atributos, as operações de uma classe são exibidas em um formato de lista, com cada operação na sua própria linha. As operações são documentadas usando a notação: nome: tipo de valor retornado [17].

As instâncias de diferentes classes ou da mesma classe podem estar relacionadas. Esses relacionamentos podem ser representados, ao nível do diagrama de classes, através de associações. Uma associação bidirecional é indicada por uma linha sólida entre as duas classes. Em ambas as extremidades da linha, insere-se valor de multiplicidade. A multiplicidade nada mais é que a quantidade de instâncias da classe a qual a instância da outra classe estabelece relações. Pode estar relacionada a nenhum elemento (0), a um elemento (1), pelo menos um elemento (1..*) entre outras possibilidades. A ligação deve ainda ser rotulada com o nome da associação opcionalmente seguido pela direção de leitura (um pequeno triângulo preto) [13], [17].

Na modelação de associações, algumas vezes é necessário incluir informações importantes sobre o relacionamento. Para isso, utiliza-se uma classe de associação a ser vinculada à associação primária. Uma classe de associação é representada como uma classe normal, a diferença é que a linha de associação entre as classes primárias faz intersecção com uma

linha pontilhada conectada à classe de associação [13], [17].

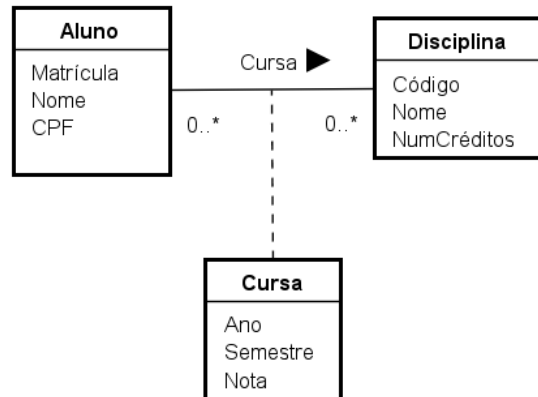


Figura 2.2: Exemplo de um diagrama de classes

Através da Figura 2.2 pode-se perceber a existência de duas classes cujos atributos estão associados entre si: nenhum ou vários alunos cursam nenhuma ou várias disciplinas. Cada aluno tem certas características ou atributos como Nome, CPF² e matrícula. Assim como cada disciplina tem seu código, nome e número de créditos. Associada a ambas as classes, está a classe de associação "Cursa", a qual contém informações importantes que engloba tanto as disciplinas como os alunos.

Um outro conceito muito importante em design orientado a objetos, herança, refere-se à capacidade de uma classe (classe-filha) de herdar as propriedades de outra classe (superclasse) e, em seguida, incluir seus próprios atributos. Um exemplo pode ser notado na Figura 2.3. Pessoas jurídicas e físicas são clientes, portanto herdam os atributos da classe em questão. Porém, pessoas jurídicas possuem características diferentes das pessoas físicas, como a presença de CNPJ³ enquanto as pessoas físicas possuem CPF.

²CPF, no Brasil, significa Cadastro de Pessoa Física. É um documento que serve para identificar os contribuintes

³No Brasil, o Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) é um número único que identifica uma pessoa jurídica

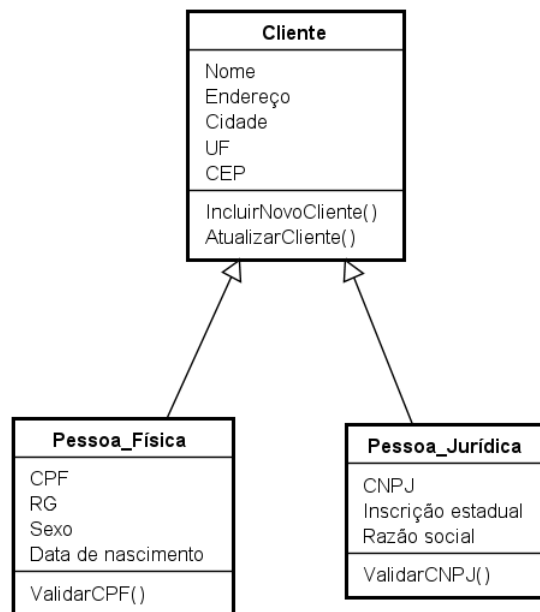


Figura 2.3: Exemplo de herança no diagrama de classes

2.2 Ontologia e sua aplicação no tema de estudo

A Ontologia é a ciência que trata dos objetos, de como se organizam na realidade e nas relações que estabelecem entre si, pautando-se na proximidade situacional dos elementos com a realidade. As relações ontológicas surgem da abstração das relações existentes na realidade entre os indivíduos. É nessas relações que se formam os conceitos, que estão relacionados pela sua natureza [18].

No sentido filosófico, o termo ontologia é definido como um conjunto de categorias que consideram certa visão do mundo, considerando uma linguagem compreendida universalmente. Assim, a ontologia é composta por um vocabulário específico que descreve uma certa realidade, acompanhado de uma série de declarações explícitas relacionadas com o significado que se pretende transmitir desse vocabulário [19].

As ontologias são sistemas para organização e representação do conhecimento, almejando a sistematização da informação. Ela facilita a compreensão do ser humano pois permite a organização do conhecimento da subárea em estudo [20].

A estrutura do sistema de conceitos é caracterizada pelo encadeamento lógico dos

sentidos e pelas relações hierárquicas entre as significações dos grupos definidos [19].

O campo conceptual das tecnologias de conversão das energias é composto pelo conjunto de conceitos que constituem este tema e o conjunto de conceitos que constituem outras disciplinas, como a Engenharia Elétrica, a Engenharia Mecânica, Geografia, Economia, por exemplo, que por sua vez estão estruturados em subconjuntos mais restritos [19].

2.3 Sistema de conceitos das energias

Para sistematizar os principais conceitos acerca as energias, é necessário, primeiramente, analisar as principais etapas necessárias desde a utilização do recurso até a obtenção final do serviço. A Figura 2.4 demonstra tais etapas.

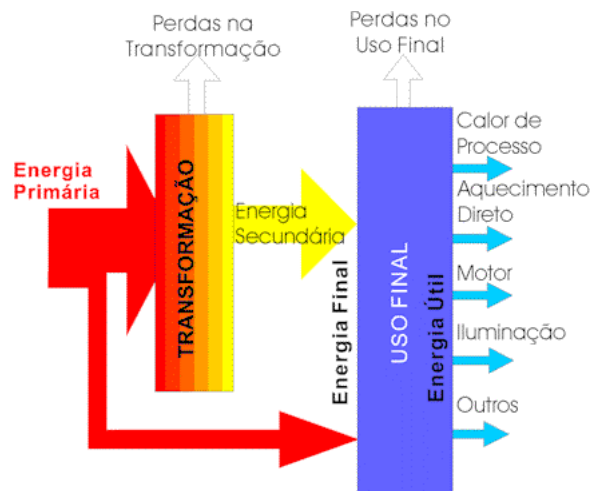


Figura 2.4: Fluxograma do uso da energia primária para a obtenção dos serviços [21]

A energia primária é o conteúdo energético total presente no recurso original. Existem nas fontes primárias de energias renováveis, como o vento, a radiação solar e a biomassa e fontes primárias não renováveis, como o petróleo e o carvão [22].

Posteriormente é convertida em energia secundária com o objetivo de facilitar o seu transporte com o auxílio de uma tecnologia de conversão. O resultado desta conversão é a obtenção de um serviço, que pode ser o calor, a eletricidade e trabalho mecânico. Estes

serviços valem-se de outras tecnologias para a geração de um serviço final mais específico, como a lâmpada para a geração de luz e iluminação de um ambiente, um fogão para a geração de calor para cozinhar os alimentos, entre outros [22].

Percebe-se então, que existem três pilares que englobam o processo de conversão de energia, conforme a Figura 2.5.



Figura 2.5: Fluxo da conversão de energia

Tendo em vista este fluxo, é possível reunir os principais conceitos relacionados com a área de conhecimento das energias para promover a melhor compreensão sobre o assunto. A seguir, estão expostos e conceituados os principais domínios e outras dimensões relacionados ao tema.

2.3.1 Recursos naturais

A palavra recurso significa elementos que o homem possa recorrer para de satisfazer as suas necessidades. Os recursos naturais se originam sem qualquer intervenção humana e estão presentes na Natureza [23].

Os recursos naturais podem ser renováveis, ou seja, estão presentes de maneira inesgotável na natureza, e após o seu uso voltam a estar disponíveis. Caso os recursos esgotem com o tempo conforme o seu uso, e não podem mais serem produzidos, recebem a denominação de recursos naturais não renováveis [24].

A seguir serão abordados os principais recursos renováveis (solar, eólica, geotérmica, oceânica, biomassa e hídrica) e os recursos naturais não renováveis (petróleo e carvão).

Solar

A fonte de energia proveniente do Sol é responsável pela ocorrência da maior parte das outras fontes de energia na Terra. É através do Sol que ocorre a evaporação e a origem dos ciclos dos rios, além de induzir a circulação atmosférica e a formação dos ventos através da conversão da radiação solar em energia cinética [25]. A radiação emitida pelo Sol que chega a superfície da Terra é de aproximadamente 1360 W/m^2 [26].

É conveniente saber a quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo em determinado local da superfície terrestre para de se obter informações sobre o potencial de energia que pode ser gerada na região. A insolação é definida como a quantidade de energia solar que atinge uma unidade de área na Terra, conforme a Equação 2.1 [27]:

$$I = \frac{E}{A} \quad (2.1)$$

Considera-se que a quantidade energia solar interceptada em diferentes pontos da Terra é a mesma, o que varia é a inclinação com que os raios solares atingem a superfície terrestre [27], conforme a Figura 2.6:

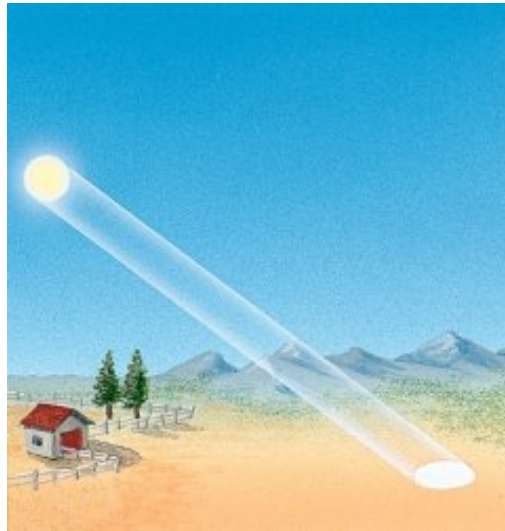


Figura 2.6: Esquematização da insolação na superfície terrestre [27]

Quando o sol está a pino (no zênite, ângulo de 90° em relação à superfície), a área

sobre a qual a energia se distribui é mínima, ou seja, a insolação é máxima, conforme a Equação 2.2 [27].

$$I_z = \frac{E}{A_z} \quad (2.2)$$

Quanto menor a altura do sol, cuja inclinação da insolação pode ser na Figura 2.7 através do ângulo h , maior é a área de intersecção entre os raios e a superfície e menor é a insolação [27].

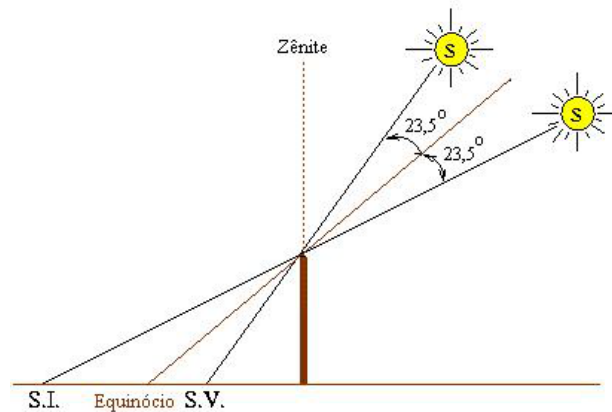


Figura 2.7: Incidência solar nos solstícios de Inverno e de Verão, de acordo com a latitude [28]

As regiões que se encontram entre as latitudes de $-23,5^\circ$ e $+23,5^\circ$ são chamadas de zonas tropicais e sempre passam pelo zênite. As regiões fora dessa faixa por sua vez não passam pelo zênite.

Portanto, a localização geográfica da região da instalação de tecnologias de conversão (coletores solares) é um fator considerável para se otimizar a geração de calor.

Éolica

Quando a radiação solar ingressa na atmosfera terrestre, as regiões são aquecidas de modo diferente (mais no equador em relação aos polos). Tal fato foi demonstrado na secção anterior e ocorre em função da curvatura da Terra, conforme pode ser visto na Figura 2.8 [12].

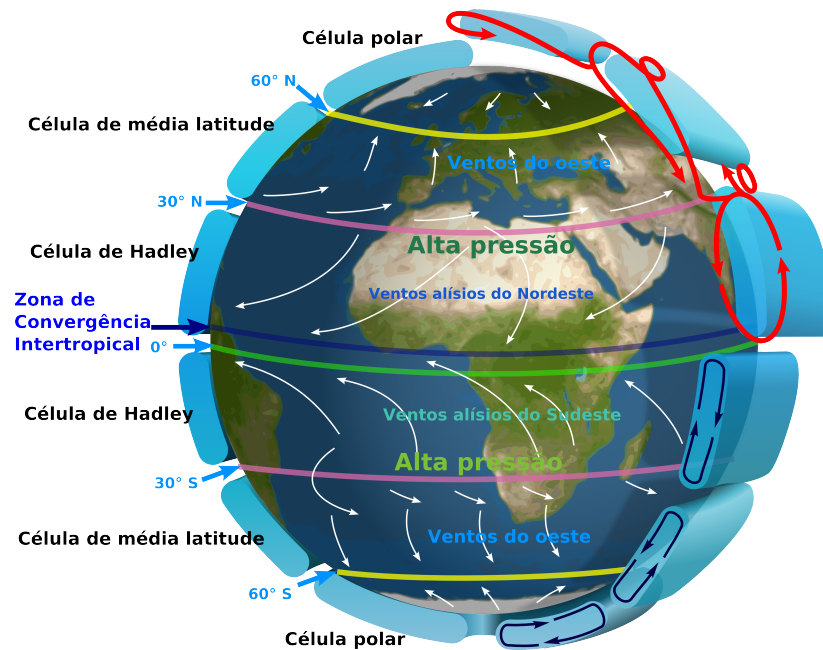


Figura 2.8: Incidência solar nos solstícios de Inverno e de Verão, de acordo com a latitude [29]

Como o ar tende a fluir das regiões mais quentes para as regiões mais frias, são gerados os chamados ventos, que nada mais é que a movimentação da massa de ar. São esses fluxos de ar que movem moinhos de vento e turbinas eólicas para a geração de energia [12].

A potência gerada pelo vento nada mais é do que a energia cinética gerada por unidade de tempo. Substituindo a Equação 2.3 na equação da energia cinética, tem-se [30] [31]:

$$P = \frac{\rho A v^3}{2} \quad (2.3)$$

Uma das características dos ventos é a sua potência variar conforme o cubo da velocidade. Dessa forma, qualquer variação na velocidade do vento provoca uma variação grande na potência fornecida.

Hídrica

Para produzir a energia hidráulica, é necessário integrar a vazão do rio, reconhecer a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo,

que podem ser naturais (quedas d'água) ou criadas artificialmente [19].

A energia hidráulica é gerada através do aproveitamento da energia potencial gravitacional da água contida em uma represa elevada. Posteriormente essa energia é convertida em energia cinética que por sua vez rotaciona uma turbina e com auxílio de um gerador converte a energia cinética em eletricidade [19]. A Figura 2.9 esquematiza os processos citados.

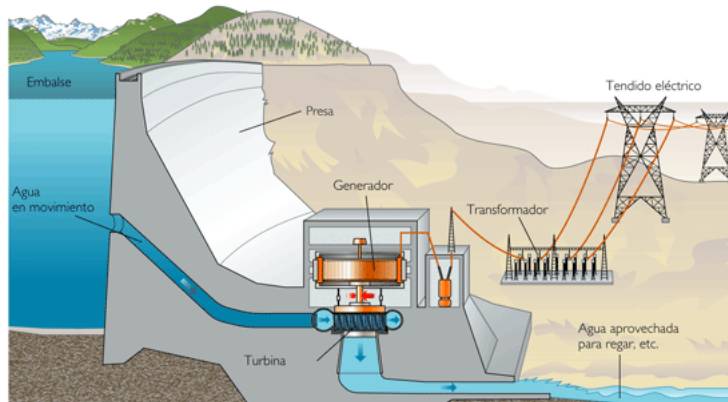


Figura 2.9: Representação da potência por metro da frente de onda [32]

A potência (P) pode ser descrita como a variação da energia através de um certo intervalo de tempo, e a taxa de variação da massa nada mais é que a densidade multiplicada pela taxa de variação do volume (caudal), como pode ser notada na Equação 2.4:

$$P = \eta \rho g h Q \quad (2.4)$$

Na equação, η representa o rendimento da turbina (existem perdas no percurso da água até a turbina), ρ é a densidade do corpo em kg/m^3 e Q é o caudal dado em m^3/s .

Biomassa

Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável proveniente da matéria orgânica (cuja origem pode ser animal ou vegetal) que pode ser utilizado para a geração de energia. É também considerada biomassa os resíduos sólidos naturais e a parte biodegradável dos resíduos sólidos (lixo doméstico) [33].

A biomassa é considerada uma fonte renovável de energia pois as plantas e as árvores removem o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e armazenam-no enquanto crescem. Assim, a queima de biomassa em habitações, em processos industriais, na produção de energia eléctrica ou para transportes, devolve à atmosfera o CO₂ retido. O crescimento de novas plantas e árvores mantém o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio, através da reabsorção deste CO₂ [34].

As fontes de biomassa podem ser lenhosas (madeira), não lenhosas (sacarídeos, Oleaginosas, aquáticos e amiláceos) e resíduos orgânicos (urbanos, agropecuários e agroindustriais). O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). Cada processo gera um produto final, como a eletricidade, calor, biogás, biodiesel, entre outros. A Figura 2.10 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos [33].

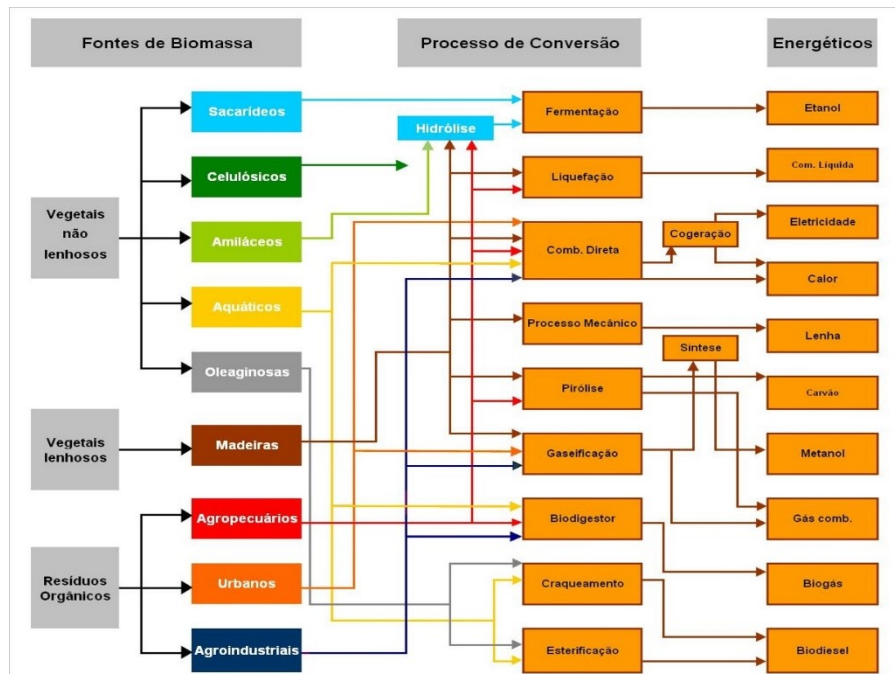


Figura 2.10: Recursos da biomassa, processo de conversão e produto final [10]

As tecnologias de conversão da biomassa serão abordadas mais especificamente no Tópico 2.3.3.

Oceânica

O oceano é um recurso bastante abundante na Terra. Cobre cerca de três quartos da superfície terrestre [35]. A quantidade da energia proveniente das ondas depende do comprimento de onda e da sua altura.

A energia média de uma onda por unidade de área em águas profundas, onde a profundidade da água é maior que um terço do comprimento de onda, pode ser estimada pela Equação 2.5:

$$E = \frac{\rho g H_{m0}^2}{16} \quad (2.5)$$

onde E é a energia média da onda por unidade de área (J/m^2), ρ é a densidade da água do mar (kg/m^3), g é a aceleração da gravidade (m/s^2) e H_{m0} é a altura significativa da onda (m). Para uma onda sinusoidal com amplitude de $H/2$, H_{m0} é igual a $H\sqrt{2}$ [36].

A potência (kW) nas ondas é dada pela Equação 2.6:

$$P = 0,55H^2T \quad (2.6)$$

onde H é a altura da onda em metros e T é o período de energia da onda em segundos[37].

Uma maior atividade das ondas é encontrada entre as latitudes de 30° e 60° em ambos os hemisférios, induzida pelos ventos ocidentais predominantes nessas regiões [38], conforme a Figura 2.11.

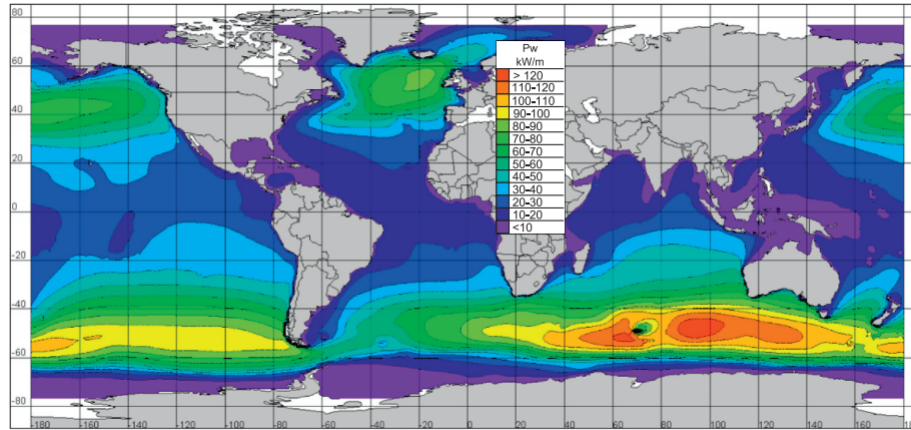


Figura 2.11: Estimativa anual global da potência das ondas em kW/m [39]

Geotérmica

A energia geotérmica é a designação do aproveitamento do calor proveniente da Terra, mais especificamente do seu interior. A elevada temperatura interna da Terra é responsável pela geração do calor, que por sua vez é dissipado para o exterior através de falhas, choque entre placas tectônicas e aquíferos [40].

A temperatura aumenta, em termos médios, de acordo com o aumento da profundidade cerca de 33°C por quilômetro. Porém, em função da heterogeneidade da crosta terrestre, existem zonas anômalas cuja variação da temperatura ultrapassa os 100°C por quilômetro de profundidade [40]. As zonas de maior interesse para a obtenção de energia são as que apresentam um elevado gradiente geotérmico, ou seja, as regiões que possuem a maior temperatura e menores profundidades, por exemplo as zonas afetadas por atividades vulcânicas, conforme demonstrado na Figura 2.12.

Para que haja o aproveitamento da energia geotérmica, é necessário um fluido que transporta o calor interno da Terra para a superfície. Dessa maneira, são empregados poços profundos para transportar água ou gás aquecidos de reservatórios subterâneos até a superfície [40].

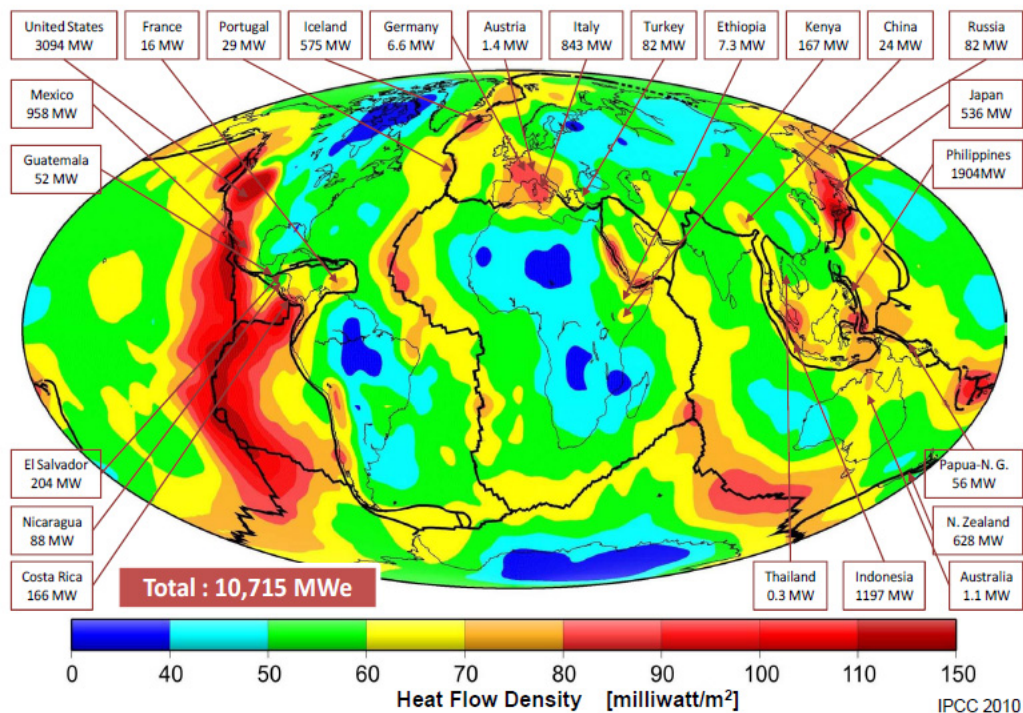


Figura 2.12: Capacidade instalada de tecnologias de conversão de energia geotérmica e sua distribuição no mundo [41]

Nuclear

A energia nuclear é baseada na libertação de uma grande quantidade de energia quando o núcleo de certos átomos (urânio-235 e plutônio-239) são induzidos a se separarem (fissão) [12]. A fissão é induzida pela absorção de neutron e pela liberação de tipicamente dois ou três neutrons. Um esquema da reação de fissão que ocorre com o átomo de urânio-235 está presente na Figura 2.13:

A completa fissão de um quilograma de urânio-235 pode produzir a mesma quantidade de energia que a queima de mais de 3.000 toneladas de carvão [12].

O calor gerado pela fissão nuclear nos reatores é usado para produzir um vapor de alta pressão, que aciona turbinas acopladas a geradores elétricos, como em uma usina convencional [12].

Existe uma situação alarmante associada ao uso da energia nuclear que é a contínua

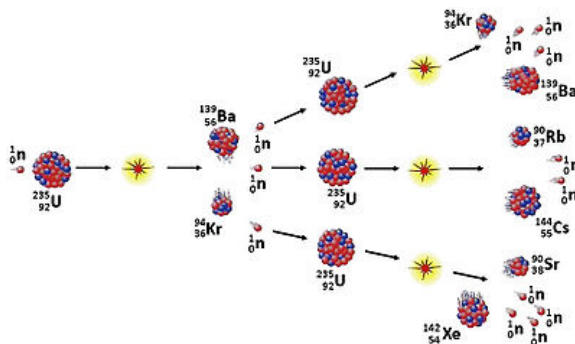


Figura 2.13: Esquema de uma reação em cadeia de fissão nuclear [42]

libertação de subprodutos radioativos nocivos em quantidades pequenas, porém cumulativas, durante a operação rotineira de usinas nucleares [12].

Além da ocorrência dos acidentes, outro fator que motivou a oposição às nucleares foi o fato de que o processo de fissão do átomo de urânio ser o mesmo que dá origem à bomba atômica. Deste modo, o país que domina a tecnologia de processamento e transformação do minério pode utilizá-la tanto para a produção de energia elétrica quanto para fins bélicos [43].

Petróleo

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos (moléculas de carbono e hidrogênio) e é resultado da decomposição da matéria orgânica, principalmente do plâncton (plantas e animais microscópicos em suspensão na água), através de bactérias presentes em meios com baixo teor de oxigênio. Com o passar de milhões de anos, essa decomposição acumulou-se no fundo dos oceanos, mares e lagos. A pressão, que foi constantemente realizada pelos sedimentos e pela movimentação da crosta terrestre, fez com que o material depositado no fundo do mar se transformasse em massas homogêneas, viscosas e de coloração negra, denominadas de petróleo [44].

Os óleos obtidos, apesar de possuírem características diferentes, possuem elementos semelhantes, assim como a sua proporção, conforme a Tabela 2.1:

Os combustíveis fósseis são bastante atrativos como fonte de energia. São altamente

Tabela 2.1: Componentes e seu percentual no Petróleo [45]

| Componentes | Composição (%) |
|-------------|----------------|
| Hidrogênio | 11.00-14.00 |
| Carbono | 83.00-87.00 |
| Enxofre | 0.06-8.00 |
| Nitrogênio | 0.11-1.70 |
| Oxigênio | 0.10-2.00 |
| Metais | Até 3.00 |

concentrados, possibilitam um grande fornecimento de energia e são fáceis de armazenar (ocupam um pequeno volume) e distribuir (principalmente os fluidos, como o petróleo e os gases) [12].

2.3.2 Serviços

Serviço pode ser entendido como o produto da atividade do homem destinado à satisfação de necessidades humanas, mas que não apresenta o aspecto de um bem material [46].

A energia proveniente dos recursos pode ser utilizada para fins de aquecimento, transporte, eletricidade, luz entre outros. Entre as inúmeras formas de energia, o calor e a eletricidade representam grande importância para o desenvolvimento técnico-científico nos tempos atuais [47].

A oferta e demanda de um determinado serviço leva em consideração diversos fatores, como a disponibilidade e a localização das fontes de matérias primas, de insumos básicos, mão de obra local, aspectos de ordem institucional geopolítico, logística de transporte, localização dos principais mercados consumidores além do preço do serviço e dos serviços complementares [48].

Serão abordados a seguir os serviços considerados essenciais e que determinam o uso final da energia: o calor, a eletricidade e o trabalho mecânico [47].

Calor

Em termodinâmica o calor pode ser definido como a forma de energia que é transferida de um sistema para outro quando estes se encontram com diferentes temperaturas ou em

diferentes fases. A ciência que estuda as taxas de transferência de calor é denominada transferência de calor [49].

Esta definição segue a Primeira Lei da Termodinâmica (também conhecida como princípio da conservação da energia) que, de modo simplificado, retrata que a energia (seja ela na forma de calor ou trabalho) não é criada, e sim transformada [50]. Este princípio pode ser notado através da Equação 2.7 (aplicada a um volume de controle) [50]:

$$\Delta E = \sum_i \frac{dQ_i}{dt} - \sum_j \frac{dW_j}{dt} \quad (2.7)$$

Na equação, W é a energia na forma trabalho, Q representa a energia na forma de calor e ΔE simboliza a variação de energia de um sistema. Ambas as grandezas, Q e W variam de acordo com o tempo, aplicadas à razão d/dt (taxa). A equação sugere então que apenas o somatório das taxas de variação de calor e trabalho, dentro de um volume de controle de um sistema fechado, são constantes e podem ser transformadas de uma forma para a outra [50].

O calor pode ser transferido de três diferentes maneiras: por condução, convecção e radiação. Todas ocorrem seguindo o mesmo princípio: fluem do corpo cujas moléculas vibram com maior frequência para o corpo cujas moléculas vibram com menor frequência. Estes mecanismos podem também ocorrer simultaneamente e de forma combinada [49].

Eletricidade

Energia é a capacidade de realizar trabalho ou aplicar força para mover um objeto. No caso da energia elétrica, a força é gerada através da atração ou repulsão entre partículas carregadas eletricamente. A eletricidade nada mais é que a movimentação de elétrons em um condutor. A principal função da energia elétrica é transformar esse tipo de energia em outros tipos, como energia mecânica e térmica [51].

Uma partícula carregada em movimento, seja um próton, elétron ou íon, gera um campo magnético. Da mesma forma, alterar um campo magnético induz uma corrente

elétrica em um condutor (por exemplo, um fio). Assim, os cientistas que estudam eletricidade normalmente se referem a esta como eletromagnetismo, porque eletricidade e magnetismo estão interconectadas [51]. A movimentação das cargas está associada ao trabalho elétrico portanto, a eletricidade está intimamente vinculada à Primeira Lei da Termodinâmica.

O dispositivo que é empregado para se converter uma forma de energia em eletricidade é conhecido como gerador. Estes operam de modo a converter a energia cinética (mecânica) em energia elétrica, utilizando uma relação entre o magnetismo e a eletricidade [52].

Trabalho

A definição de trabalho pode ser descrita como uma força que atua em um objeto e provoca o seu deslocamento. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo, quando a energia é transferida deste, o trabalho é negativo [53].

O trabalho pode ser calculado de maneira genérica utilizando a Equação 2.8:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x)dx \quad (2.8)$$

O trabalho é definido então como a área sobre a curva F versus x no qual F é a força que atua em certo ponto x e x é a distância percorrida pelo corpo.

O trabalho pode estar associado à variação de energia potencial gravitacional de um corpo, por exemplo um corpo em queda livre, pela variação da energia cinética de um corpo e ainda pela variação na energia potencial elástica [53]–[55].

A eletricidade, conforme já mencionado, pode ser considerada um serviço pois representa um tipo de trabalho, o trabalho elétrico. A lei de Ohm define que a resistência R é proporcional a tensão T à qual o componente está submetido e inversamente proporcional a corrente I que atravessa este, conforme a Equação 2.9 [12]:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.9)$$

A potência elétrica (representada pela unidade de medida watt (W)), por sua vez, é diretamente proporcional à tensão e à corrente (Equação 2.10). Sendo a potência uma variação da energia (ou trabalho $\Delta\tau$) com relação ao tempo, podemos representar a Equação 2.11 em termos da variação do trabalho [12]:

$$P = VI \quad (2.10)$$

$$\Delta\tau = VI\Delta t \quad (2.11)$$

2.3.3 Tecnologias de conversão

Para se converter um recurso em um serviço, é necessário uma tecnologia que realize essa transformação. Na Tabela 2.2, pode-se notar que cada recurso possui tecnologias de conversão associadas para a geração de um serviço em específico, que no caso restringiu-se à eletricidade, ao calor e ao trabalho mecânico.

Vale salientar que a Tabela 2.2 foi simplificada, uma vez que uma única tecnologia de conversão pode fornecer mais de um serviço, como a geração de eletricidade e calor. Por definição, a cogeração é a geração simultânea de múltiplas formas de energia útil, nomeadamente energia elétrica e energia térmica, num sistema integrado, a partir de uma única fonte primária [57].

O aproveitamento da energia térmica, nos sistemas de cogeração, pode ser efetuado de diversas formas: vapor, óleo térmico, água quente, ar quente, etc. Pode ainda ser realizado sob a forma de frio, geralmente pela produção de água fria ou gelada (5°C a 7°C) através de chillers de absorção. A utilização da energia térmica resultante do processo de cogeração para a produção de frio é conhecida como Trigeração [58].

Observa-se também, que algumas células da tabela não foram preenchidas, pois o recurso não apresenta tecnologia com maturidade significativa para o serviço em questão. Vale enfatizar que o objetivo da tese não é o preenchimento completo da tabela, portanto a tabela foi representada de maneira fiel ao exposto pelo autor.

Existe um indicador que avalia a maturidade da tecnologia e permite a discussão e

Tabela 2.2: Tecnologias de conversão associadas a cada recurso e serviço [56]

| | Eletricidade | Calor | Trabalho Mecânico |
|-------------------|--|---|---|
| Solar | Célula fotovoltaica Concentrador Solar | Coletor térmico Claraboia e Envidra- cados Pavimento de armaze- namento térmico | Bombeamento de água |
| Éolica | Aerogerador (off- shore, on-shore) | - | Moinho de vento agrí- cola (bombeamento de água) Bomba eólica-elétrica |
| Hídrica | Hidroelétrica: Grande (> 10kW), Mini-hídrica (< 10kW) | - | Roda de água Elevador de água |
| Biomassa | Termoelétrica: Caldeiras; Turbinas a vapor Turbinas a gás | Caldeiras Fornos | Motor de combustão interna Digestor anaeróbio |
| Geotérmica | Hidrotérmicas EGS Central a vapor seco | Eixo binário Bomba de calor (GHP) Uso direto | |
| Oceânica | Turbinas (ondas) Barragem (marés) OTEC | - | Turbinas (ondas) |
| Petróleo | Termoelétrica: Caldeiras; Turbinas a vapor Turbinas a gás | Caldeiras | Motor de combustão interna; Turbina a gás; Motor de combustão externa |
| Nuclear | Fissão Fusão | Fusão | - |

comparação da maturidade de diferentes tipos de tecnologia. Essa medição é denominada Technology Readiness Level (TRL) e foi desenvolvida pela NASA durante a década de 70 [59].

Cada projeto de desenvolvimento de uma tecnologia é avaliado em relação aos parâmetros de cada nível de tecnologia e, em seguida, é atribuída uma classificação TRL com base no progresso do projeto [59]. Existem nove níveis de maturidade tecnológica. O TRL 1 é o mais baixo e o TRL 9 é o mais alto. Os níveis e as respectivas descrições estão presentes na Figura 2.14.



Figura 2.14: Escala de níveis de maturidade tecnológica [60]

Quando a tecnologia possui TRL 1, significa que a pesquisa científica está iniciada e os resultados estão sendo revertidos em pesquisa e desenvolvimento futuros. O TRL 2 ocorre depois que os princípios básicos foram estudados e aplicações práticas podem ser aplicadas aos resultados iniciais. A tecnologia TRL 2 é muito especulativa, pois há pouca ou nenhuma prova experimental do conceito para a tecnologia.

Uma vez iniciado um nível de pesquisa e o projeto ativos, uma tecnologia é elevada para TRL 3. Geralmente, são necessários análises e estudos de laboratório nesse nível para verificar se uma tecnologia é viável e pronta para seguir o processo de desenvolvimento. Durante o TRL 3, é construído um modelo de prova de conceito.

Com o modelo de prova construído, a tecnologia avança para o TRL 4. Durante o TRL 4, vários componentes são testados entre si. O TRL 5 é uma continuação do TRL 4, no entanto, uma tecnologia que está em 5 deve ser submetida a testes mais rigorosos do que a tecnologia que está apenas no TRL 4. As simulações devem ser executadas em ambientes mais próximos da realidade possível. Após a conclusão do teste do TRL 5, uma

tecnologia pode avançar para o TRL 6. Uma tecnologia do TRL 6 possui um protótipo ou modelo de representação totalmente funcional.

A tecnologia TRL 7 exige que o modelo ou protótipo de trabalho seja demonstrado em um ambiente operacional. A tecnologia TRL 8 foi testada, qualificada e está pronta para implementação. No TRL 9, a tecnologia possui resultados satisfatórios no ambiente operacional e está pronta para se tornar competitiva no mercado.

Capítulo 3

Resultados e Discussão

Primeiramente, é necessária a realização de uma pesquisa sobre a ontologia das tecnologias de conversão de energia, ou seja, dos principais conceitos existentes que auxiliam na compreensão do assunto. Para isso, são utilizados artigos, trabalhos acadêmicos, jornais, revistas, *sites* e livros presentes em fontes confiáveis de informação, como o B-ON (Biblioteca do Conhecimento *On-line*), Google Acadêmico e organizações com certa relevância no assunto, como a IRENA.

Após a etapa de definição, estabeleceu-se o tipo de associação entre os conceitos e os atributos contidos em cada classe. Desta maneira, foi possível o desenvolvimento do diagrama de classes. O software a ser utilizado para a elaboração do diagrama é a ferramenta de modelação Astah UML. As principais classes e atributos levantados, assim como a ferramenta de modelação utilizada serão abordados nas seções a seguir.

3.1 Definição das principais classes e atributos

Seguindo os demais trabalhos relacionados ao assunto de tecnologias de conversão de energia, abordados nos Capítulos 1 e 2, agrupou-se os principais conceitos considerados de mesma natureza na forma de lista, de acordo com a Tabela 3.1. Os conceitos podem indicar exemplos de cada classe, como o recurso eólico, assim como termos que a caracteriza, como a obtenção e densidade energética da classe "Recurso". As classes consideradas

mais importantes para a compreensão do tema são: Recurso, Tecnologia de conversão, Serviço, Uso (relacionado à utilização da tecnologia de conversão), Princípio (mecanismo de funcionamento da tecnologia de conversão e de obtenção do serviço), Risco, Legislação e Impacto Socioambiental, conforme a Figura 3.1.

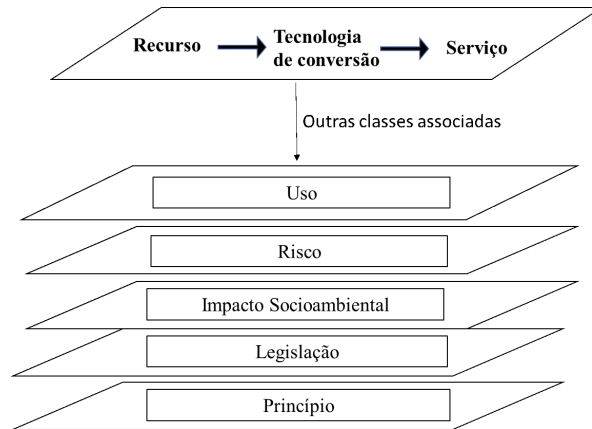


Figura 3.1: Principais classes associadas às tecnologias de conversão de energia

O uso da tecnologia de conversão para converter um recurso em um determinado serviço implica um custo de investimento e de Operação e Manutenção (O&M) e uma capacidade instalada. Esses dados variam de acordo com o país em que a tecnologia está instalada devido, principalmente, à disponibilidade geográfica do recurso.

O custo do investimento é de grande relevância, pois consiste no valor real necessário para implementar uma tecnologia de conversão a fim de gerar algum serviço e pode ser decisivo ao se optar por determinada tecnologia de conversão. É expresso pela fração da quantidade de dinheiro necessária e a quantidade de energia gerada a partir desse gasto em quilowatts (kW). O custo do investimento inclui custos de equipamentos (por exemplo, turbinas eólicas), custos de financiamento, custos totais de instalação, custos fixos e variáveis de operação e manutenção (O&M), custos de combustível (se houver) e custos de eletricidade nivelados (custo de eletricidade nivelado por LCOE) e valores para o custo médio de implantação [61].

O risco é considerado como a probabilidade de um evento, esperado ou inesperado, se tornar realidade. A ideia de que algo pode acontecer, já configura um risco [62]. Existem

Tabela 3.1: Agrupamento dos conceitos de trabalhos existentes [4], [6], [12]

| Recurso | Tecnologia de Conversão |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Éolico | Turbina éolica de eixo horizontal |
| Solar | Painel Fotovoltaico |
| Oceânica | OTEC |
| Geotérmica | Bomba de calor (GHP) |
| Biomassa | Caldeira |
| Hídrica | Hidrelétrica |
| Combustíveis fósseis | Motor à combustão |
| Obtenção | Eficiência energética |
| Densidade Energética | Maturidade |
| Serviço | Uso |
| Eletricidade | Capacidade Instalada |
| Trabalho Mecânico | Custo de Investimento |
| Calor | Custo de Operação e Manutenção |
| Custo do serviço | País |
| Impacto Socioambiental | Princípio |
| Emissão de CO_2 | Termodinâmica |
| Uso da terra | Eletromagnetismo |
| Impactos no ecossistema | Conversão de energia |
| Emissão de poluentes | Transferência de calor |
| Criação de emprego | |
| Uso da terra | |
| Impacto visual e sonoro | |
| Emissão de partículas | |
| Risco | Legislação |
| Explosão | Limitação da capacidade instalada |
| Libertação de substâncias tóxicas | Regiões de instalação da tecnologia |
| Danos pessoais e ambientais | Benefícios sociais |
| | Desenvolvimento Local |

riscos ambientais, econômicos, sociais, entre outros.

A legislação sobre energia renovável e não renovável refere-se principalmente às questões legais e políticas transacionais que envolvem o desenvolvimento, implementação e comercialização de fontes de energia, como solar, eólica e nuclear. Essas legislações também se relacionam às questões de uso da terra, localização e finanças encontradas pelos desenvolvedores de projetos de energia renovável e não renovável.

Os impactos socioambientais estão relacionados, são mudanças que ocorrem no meio ambiente e na sociedade devido à instalação de tecnologias de conversão de energia. Tais modificações incluem a criação de novos empregos, uso da terra, emissão de poluentes, entre outros.

O Princípio pode ser entendido como o mecanismo físico e/ou químico que descreve como o recurso é convertido em serviço por meio da tecnologia de conversão.

3.2 *Astah UML*

A Astah é uma ferramenta vastamente utilizada para a modelagem de soluções de software que fazem uso da UML. Dispõe de uma versão free “community” e de uma versão paga “professional”. Astah é desenvolvido na plataforma JAVA e permite que seja utilizada uma linguagem mais próxima do pensamento humano. Admite ainda que os modelos criados sejam transformados em códigos. Astah também aceita que códigos já criados, sejam transformados em modelos UML, através da engenharia reversa [63].

A Astah permite a criação de diversos tipos de diagrama UML como o diagrama de casos de uso, diagrama de sequência, diagrama de atividades, entre outros. A ferramenta será utilizada neste trabalho para a elaboração do diagrama de classes sobre as tecnologias de conversão de energia.

3.3 O Modelo

Tendo-se conhecimento das principais classes e atributos, a informação pode então ser sistematizada na forma de diagrama de classes. Os atributos estão representados no compartimento abaixo do nome da classe e o seu tipo foi ocultado a fim de melhorar a representação. A associação entre as entidades está indicada através da linha de associação juntamente com a sua descrição, conforme Figura 3.2. As multiplicidades das classes também são indicadas na linha de associação.



Figura 3.2: Diagrama de classes sobre o recurso e tecnologia de conversão

O primeiro passo do processo para se obter um determinado serviço é o uso do recurso por uma determinada tecnologia de conversão para que ocorra a conversão de energia. Um recurso pode estar associado a nenhuma ou várias tecnologias de conversão. Por exemplo, a radiação solar pode gerar eletricidade usando células fotovoltaicas e também pode ser usada para aquecimento através de coletores solares térmicos. Recursos por si só também podem gerar diretamente o serviço, sem necessidade de uma tecnologia de conversão além de existirem recursos que não utilizados para fins energéticos. Uma tecnologia de conversão pode estar associada a um ou mais recursos. Um exemplo disso é o motor *flex*, que pode fazer uso tanto o etanol quanto a gasolina para realizar a combustão.

As principais características dos recursos são seu nome, características, obtenção e sua densidade energética. Quando se trata de tecnologias de conversão, é importante conhecer sua eficiência de conversão, características e maturidade.

A aplicação de uma tecnologia de conversão tem um custo de investimento, operação e manutenção (O&M), uma capacidade instalada e uso da terra. Esses atributos variam de acordo com o país, conforme Figura 3.3. A dependência da tecnologia em relação ao país

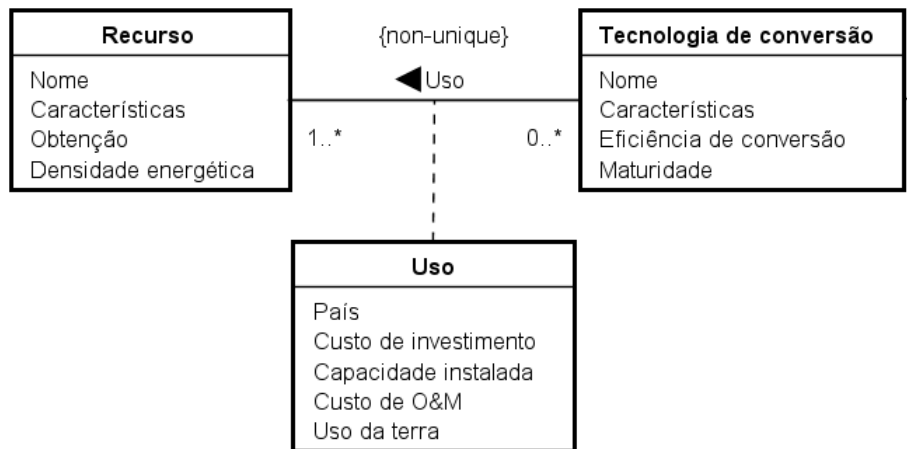


Figura 3.3: Diagrama de classes sobre o recurso, tecnologia de conversão e seu uso

ocorre devido à disponibilidade geográfica do recurso, o que afeta o custo do investimento e a capacidade total instalada na região. “Uso” é uma classe associativa porque depende da associação entre as classes "Recurso" e "Tecnologias de conversão" e possui o mesmo nome da associação entre estas. A descrição *"non-unique"* significa que a classe associativa em questão pode ter várias instâncias, uma vez que em cada país os custos, a capacidade instalada e uso da terra podem variar.

O uso da tecnologia de conversão tem algumas implicações, como impactos socioambientais, riscos e possui ainda legislações associadas a sua aplicação, como pode ser visto na Figura 3.4. Uma aplicação pode ter nenhum ou muitos riscos, como explosão e liberação de contaminantes, e um determinado risco pode não ter vínculo com o uso de uma tecnologia de conversão ou estar associado a usos diferentes. Os riscos têm uma causa, consequência e tipo, por exemplo, risco econômico, risco ambiental, entre outros. Cada risco pode ter um ou mais tipos, e um tipo pode estar associados a diferentes riscos. O tipo de risco é independente da existência ou não do risco, o que significa que "Tipo de risco" pode ser definido como uma classe.

Cada tecnologia de conversão pode ter diversos ou não ter um impacto socioambiental. Geralmente as tecnologias de conversão gera impactos como emissão de poluentes, geração de empregos, entre outros. A quantidade de empregos gerados e a quantidade de poluentes

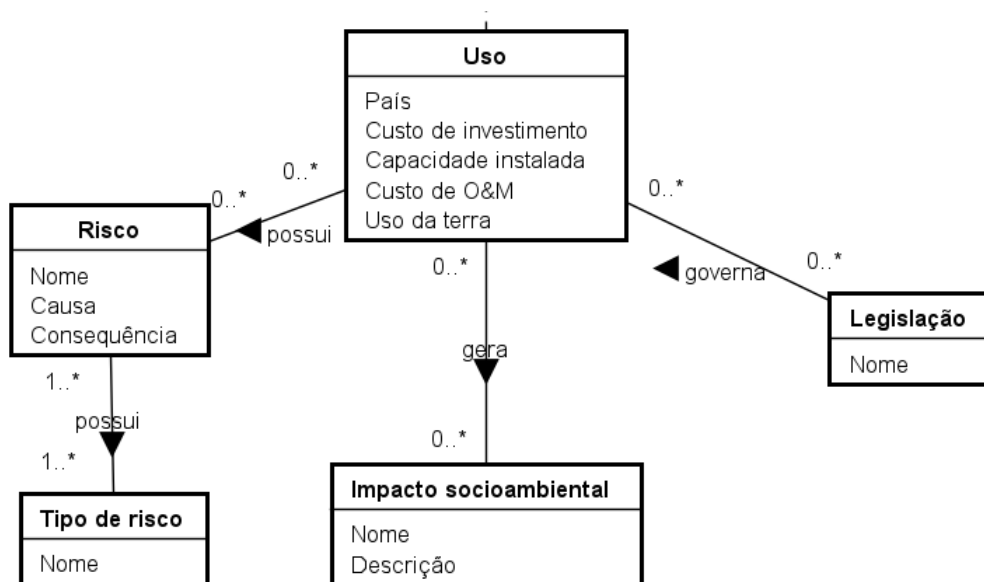


Figura 3.4: Diagrama de classes sobre o uso da tecnologia de conversão, seu risco, legislação e impacto socioambiental

emitidos estão inseridos na descrição do respectivo impacto, assim como outras notas. Além disso, pode haver ou não legislações que governem o uso das tecnologias de conversão. A mesma legislação (que varia de acordo com o país) pode reger o uso de diferentes tecnologias de conversão. Uma certa legislação pode não ter vínculo com os usos das tecnologias de conversão.

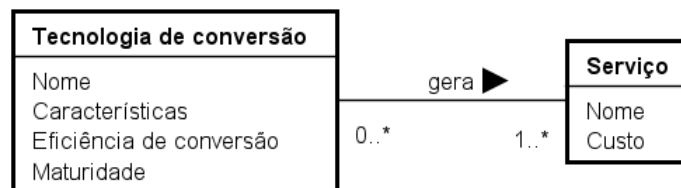


Figura 3.5: Diagrama de classes sobre a tecnologia de conversão e serviço

Finalmente, a tecnologia de conversão gera um serviço usando um recurso. A Figura 3.5 mostra a associação entre as classes "Tecnologia de conversão" e "Serviço". O serviço pode ser, por exemplo, calor, trabalho mecânico ou eletricidade (atributo "nome") e possui um custo, de acordo com a tecnologia de conversão e recurso usado.

Não é necessária uma tecnologia de conversão para a obtenção de um determinado serviço. Por exemplo, a radiação solar pode ser usada diretamente para fins de aquecimento (como secar roupas e grãos). O mesmo serviço também pode estar presente em várias tecnologias de conversão. Um exemplo disso, é a eletricidade, que pode ser obtida através de usinas hidrelétricas, turbinas eólicas, células fotovoltaicas, entre outras diferentes tecnologias. Uma tecnologia de conversão está relacionada a um ou mais serviços. Mais de um serviço pode ser obtido por meio de cogeração e trigeração.

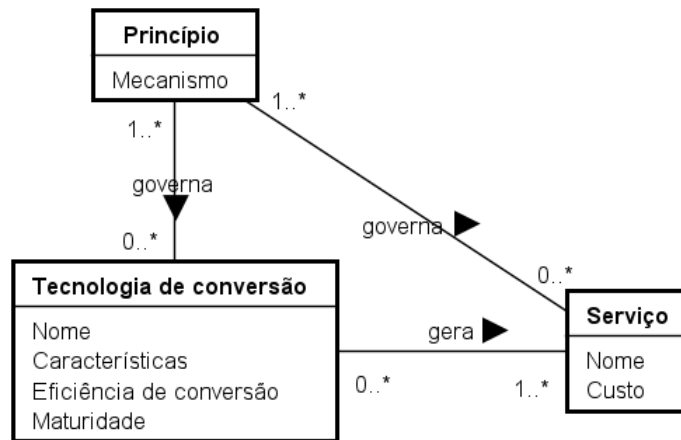


Figura 3.6: Diagrama de classes sobre a tecnologia de conversão e serviço e seus princípios

Existem princípios por trás da operação de tecnologias de conversão e obtenção de serviços. Esses princípios existem independentemente da tecnologia conversão e do serviço, por isso que “Princípio” é uma classe e não uma classe associativa, como pode ser visto na Figura 3.6. O princípio possui um mecanismo, que está associado a ambas as classes, e se trata do modo como a energia é convertida no sentido físico e/ou químico para a geração do serviço. Por exemplo, a energia nuclear é baseada na energia libertada pela fissão do átomo de urânio-235. Um outro mecanismo vinculado à mesma tecnologia é a transferência de calor pois aproveita-se o calor emitido na reação para aquecer a água até se tornar vapor. O princípio de geração do serviço trata-se do uso do vapor para movimentar uma turbina a vapor acoplada a um gerador (conversão da energia térmica em cinética) para finalmente

se obter a eletricidade (através do princípio do eletromagnetismo). Logo, nota-se que uma dada tecnologia de conversão e serviço possuem pelo menos um princípio envolvido e um princípio pode estar relacionado a nenhuma ou várias tecnologias de conversão e serviços.

A visão geral das classes e suas associações é mostrada na Figura 3.7. É importante salientar que há pelo menos uma bibliografia associada a cada classe. Essa associação foi indicada por uma nota para evitar a presença de muitas conexões que dificultem a visualização e compreensão do diagrama.

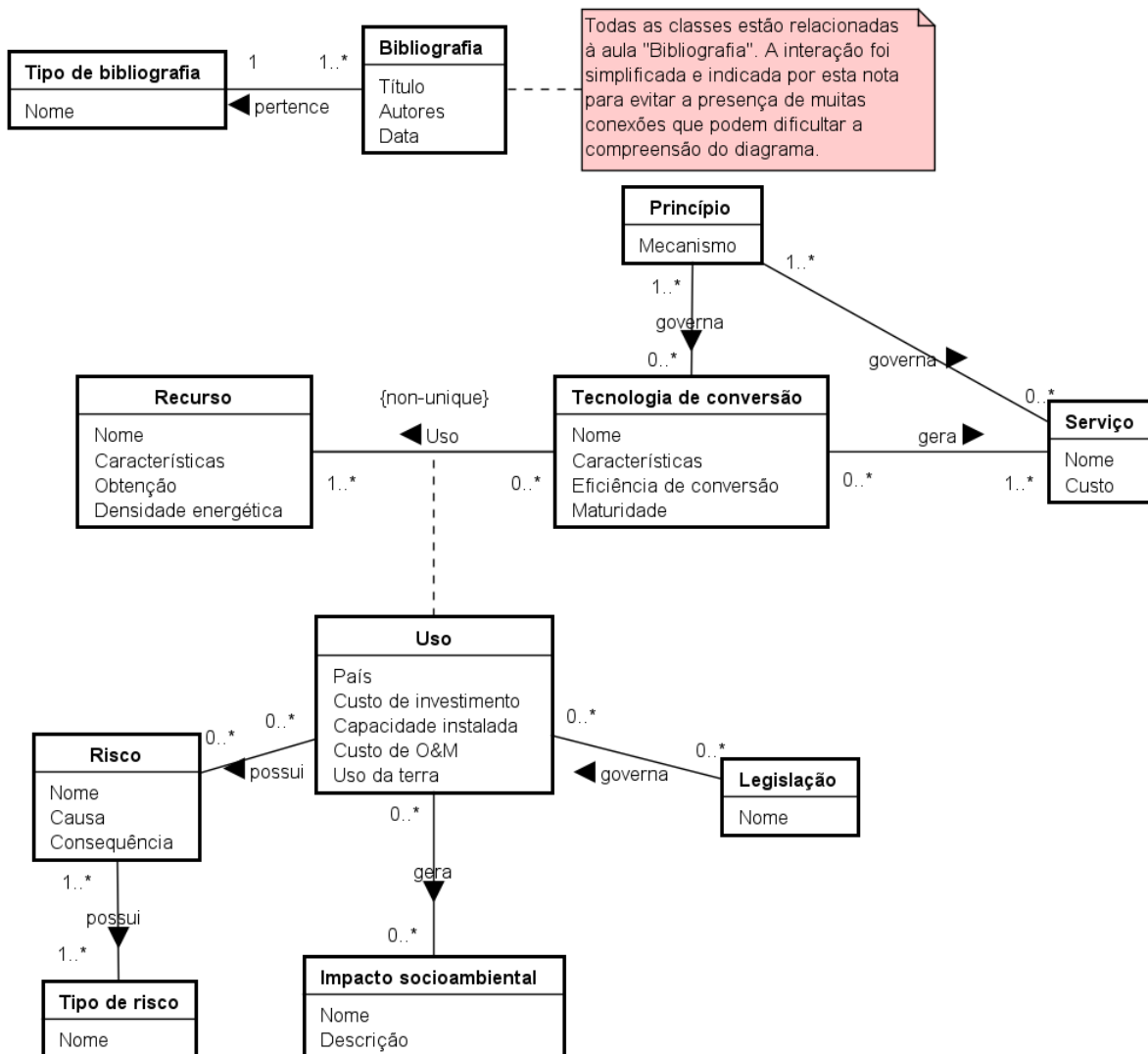


Figura 3.7: Diagrama de classes dos principais conceitos sobre tecnologia de conversão de energia

3.4 Aplicações do modelo

Nesta seção o modelo proposto será exemplificado com base em duas tecnologias com maturidades diferentes: A Turbina eólica de eixo horizontal onshore (HAWT) e o Conversor de energia térmica oceânica (OTEC).

3.4.1 Turbina eólica de eixo horizontal *onshore* (HAWT)

Nesta seção, um exemplo será aplicado ao modelo proposto. Para isso, a turbina eólica de eixo horizontal em terra foi escolhida como tecnologia de conversão de energia, utilizando o vento como recurso e gerando eletricidade como serviço. É utilizado um diagrama do objetos para ilustrar este exemplo.

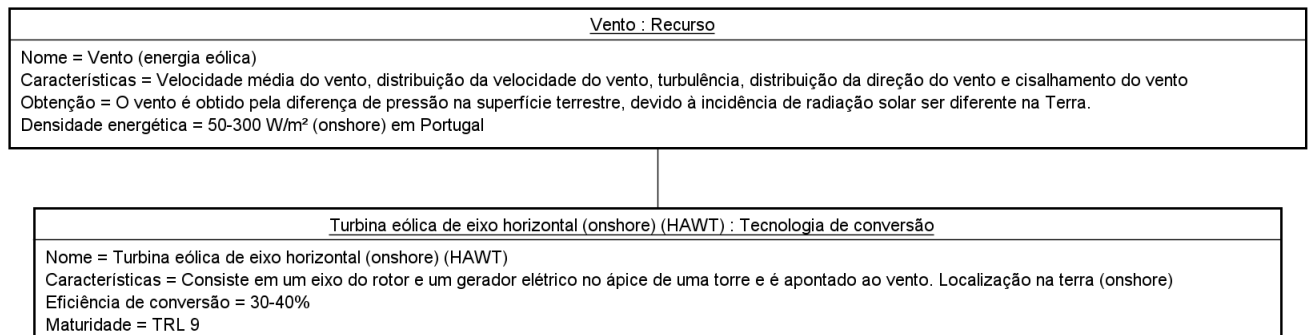


Figura 3.8: Diagrama de objetos sobre recurso eólico e turbina eólica de eixo horizontal *onshore*

Na Figura 3.8, percebe-se que a tecnologia de conversão escolhida, e que utiliza o vento como recurso, é a Turbina Eólica de Eixo Horizontal *onshore* (HAWT). Cada classe contém informações, na forma de atributos, sobre objetos. O vento é obtido pela diferença de pressão na superfície da Terra [64]. As principais características que devem ser conhecidas sobre o vento antes da instalação de uma turbina eólica são: velocidade média, distribuição da velocidade, turbulência, cisalhamento (perfil) e distribuição da direção do vento [65]. Outro dado importante sobre o recurso eólico *onshore* é sua densidade energética. A sua densidade energética é de cerca de 50-300 W/m² em Portugal [66].

Sobre a tecnologia de conversão, pode-se notar que a turbina consiste em um eixo do rotor e um gerador elétrico no ápice de uma torre que é apontado para o vento [67]. Além disso, essa tecnologia é caracterizada por ser *onshore*, ou seja, é uma estrutura cujo objetivo é gerar energia elétrica localizada em terra [68]. A eficiência de conversão dessa tecnologia está entre 30-40 % [69] e a maturidade da tecnologia é TRL 9, segundo o nível de prontidão tecnológica, o que significa que o sistema está no ambiente de operação [70].

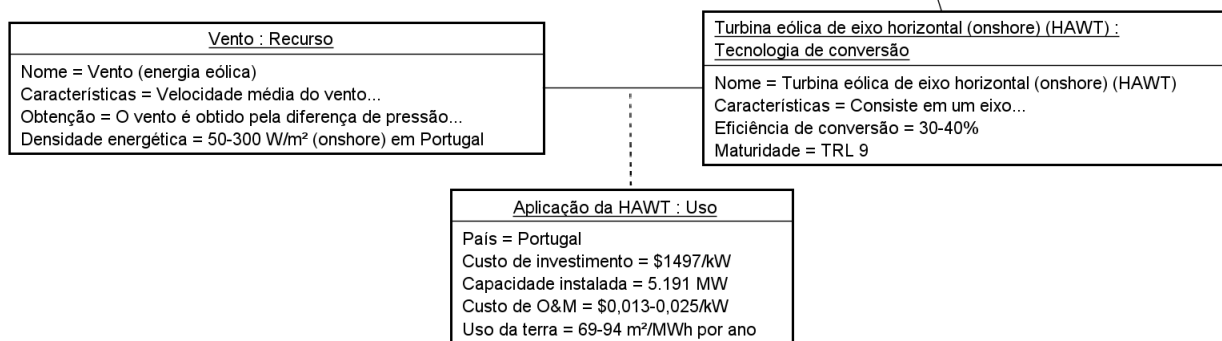


Figura 3.9: Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal *onshore*

Como a disponibilidade do recurso afeta a decisão de instalar turbinas eólicas e, consequentemente, a capacidade instalada, Portugal será considerado para se ter uma ideia da capacidade instalada no país em comparação com o restante do mundo. A capacidade instalada da HAWT *onshore* em Portugal é estimada em 5.190 kW, em vista de cerca de 540.370 kW instalados no mundo, como pode ser visto na Figura 3.9 [61].

A aplicação do HAWT *onshore* possui um custo médio de investimento de \$ 1497/kW [71]. Esse valor médio de custo inclui custos de instalação, conexões elétricas e operação e manutenção (O&M). O custo de O&M da tecnologia *onshore* é de \$ 0,013-0,027/kWh [69]. O uso da terra necessário para o recurso eólico é de cerca de 69-94 m²/MWh por ano.

A aplicação da HAWT *onshore* apresenta riscos, impactos socioambientais e uma legislação que rege a aplicação da tecnologia. Um exemplo de risco, de acordo com a Figura 3.10, é a formação de gelo nas turbinas, causada pela instalação das turbinas em locais

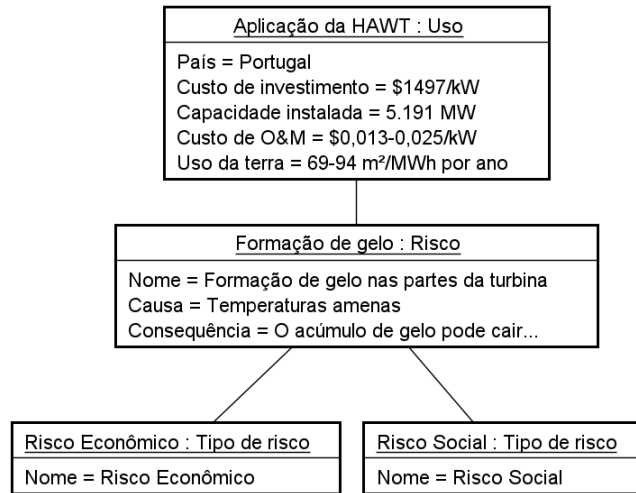


Figura 3.10: Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal *onshore* e seu risco

com temperaturas amenas. Como consequência, o gelo pode cair ou ser lançado das turbinas e atingir pessoas e propriedades [72]. A natureza do risco é social e econômica.

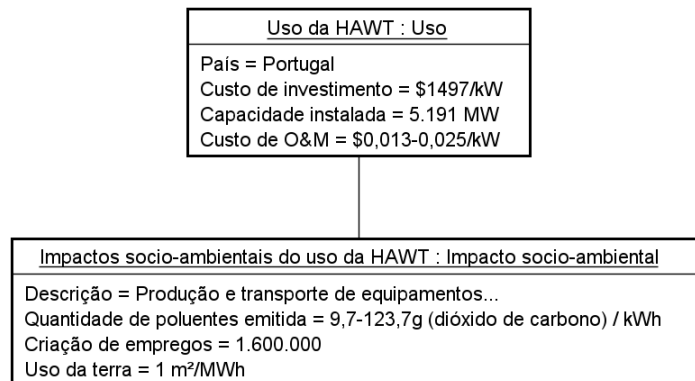


Figura 3.11: Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal *onshore* e seu impacto socioambiental

Conforme a Figura 3.11 os impactos socioambientais da HAWT *onshore* englobam a poluição sonora e visual, distúrbios na fauna e flora no caso do uso de HAWTS em terra. Além disso, percebe-se que a emissão de poluente pode estar associada a produção, transporte e eliminação dos equipamentos. A quantidade de poluentes emitidos é um dado

controverso entre a literatura existente. A faixa de emissão de poluentes encontrada é de 9 a 127 g CO₂/kWh [73]. Essa faixa de valores é ampla, portanto, não é um dado conclusivo no que diz respeito à emissão de poluentes da tecnologia em questão. Um dos impactos sociais é a criação de empregos, que abrange cerca de 1.160.000 empregados [74].

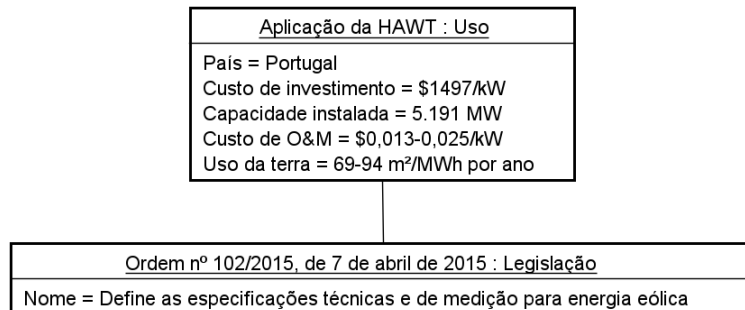


Figura 3.12: Diagrama de objetos sobre o uso da turbina eólica de eixo horizontal *onshore* e sua legislação

Existem várias leis em Portugal relacionadas com a geração de energia eólica. Para fins de exemplificação, na Figura 3.12 é citada apenas uma legislação, número de ordem 102/2015, de 7 de abril de 2015, que define as especificações técnicas e de medição para energia eólica [75].

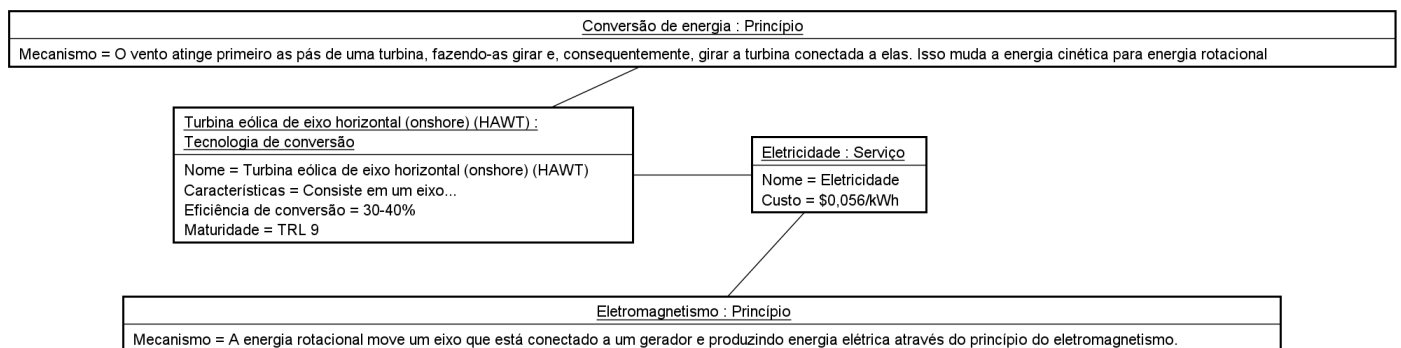


Figura 3.13: Diagrama de objetos sobre a turbina eólica de eixo horizontal *onshore*, o serviço gerado e seus princípios

Finalmente, a Figura 3.13 mostra a geração da uso final da energia eólica através da tecnologia de conversão. Para isso, o princípio da transformação da energia é seguido,

isto é, ocorre a conversão da energia cinética do vento em energia rotacional no rotor. Usando o princípio do eletromagnetismo, o gerador converte a energia rotacional do rotor em trabalho elétrico [69]. Conseqüentemente, é obtido o serviço de eletricidade, cujo custo estimado para a tecnologia de conversão em questão é de \$ 0,056/kWh [61].

A visão geral do modelo da HAWT *onshore* usando o vento como recurso pode ser vista na Figura 3.14.

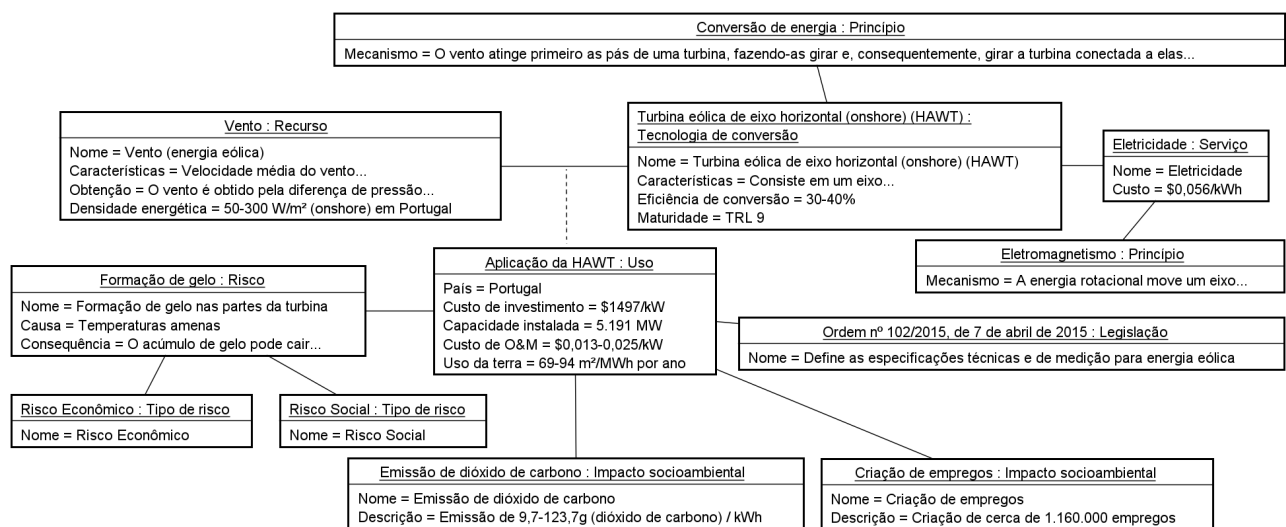


Figura 3.14: Diagrama de objetos sobre os principais conceitos da HAWT *onshore*

3.4.2 Conversor de energia térmica oceânica (OTEC)

Um outro exemplo de tecnologia de conversão a ilustrar a aplicação do modelo é o Conversor de energia térmica oceânica (OTEC). O recurso utilizado por essa tecnologia é o oceano, conforme a Figura 3.15. Os oceanos cobrem 3/4 da superfície terrestre além de ser um recurso que está disponível cerca de 90% do tempo [35]. A tecnologia em questão utiliza a diferença de temperatura entre a superfície mais quente do oceano e a mais fria localizada no seu fundo. Essa diferença deve ser no mínimo de 20°C e idealmente entre 30°C e 40°C para que o uso do OTEC seja viável [76]. Os maiores potenciais energéticos encontram-se nas regiões equatoriais e tropicais (entre 20°N e 20° S), ou seja, onde

a superfície do oceano possui maior temperatura devido a incidência solar. O valor da densidade energética média entre as latitudes 20°N e 20°S é de 500 kW/(m³/s) [77] e uma média de 360 kW/(m³/s) no mundo [78].

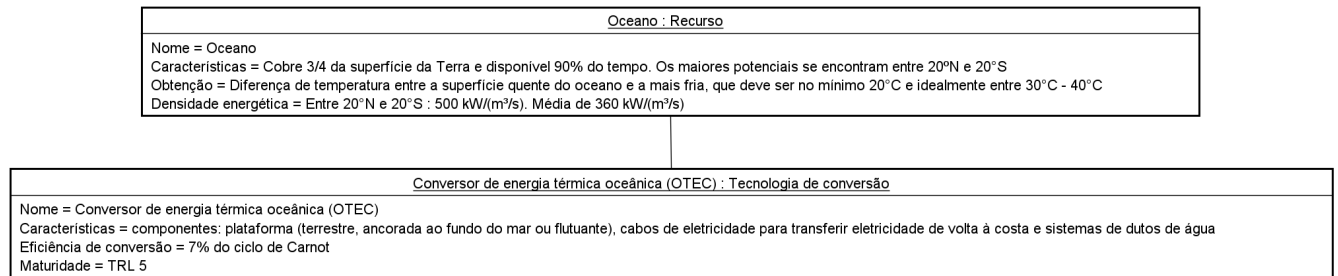


Figura 3.15: Diagrama de objetos sobre o recurso oceano e a tecnologia de conversão OTEC

Na Figura 3.15 pode-se notar que a tecnologia de conversão correspondente ao recurso oceânico é o Conversor de energia térmica oceânica (OTEC). Possui como características a presença de uma plataforma, que pode ser terrestre ou estar ancorada ao fundo do mar ou ainda ser flutuante, cabos de eletricidade para transportar a eletricidade para a costa e sistemas de duto de água através dos quais há circulação da água quente e fria [78]. O OTEC se comporta seguindo o ciclo de Carnot, ou seja, segue um ciclo termodinâmico que consiste em quatro processos internamente reversíveis: dois adiabáticos e dois isotérmicos [79]. Desta maneira, a eficiência da máquina é avaliada em função da eficiência do ciclo, que tem relação com as temperaturas da fonte quente e fria. A eficiência do OTEC é de no máximo 7% do ciclo de Carnot [78]. O OTEC tem grau de maturidade TRL 5 [80], o que significa que a tecnologia encontra-se na fase de desenvolvimento (protótipo) e a validação já vem sendo realizada fora dos laboratórios [70].

O país pioneiro na aplicação do OTEC e que possui uma planta em funcionamento desde 2015 são os EUA, por isso será considerado no diagrama [78]. A planta OTEC foi inaugurada no Havaí e possui 100 kW de capacidade instalada [81]. Outros países estão desenvolvendo estudos para a instalação de plantas de 10 MW, que são mais viáveis em relação ao custo de instalação. A prova disso é que para se instalar uma planta com menos

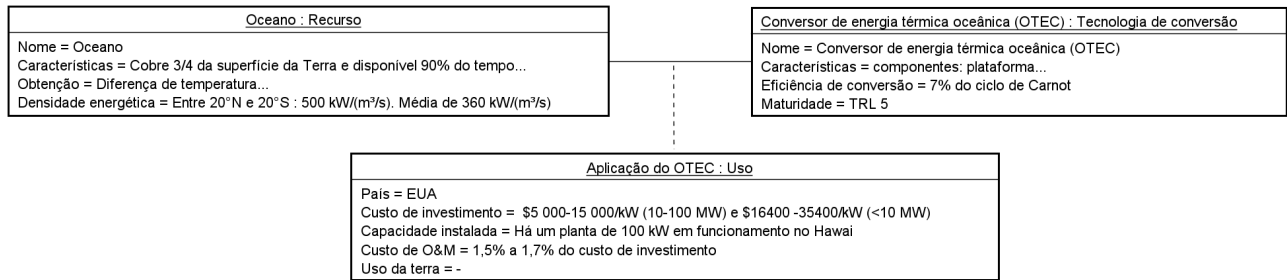


Figura 3.16: Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC

de 10 MW de capacidade o custo de investimento é de \$16.400-35.400/kW enquanto que o custo para se instalar uma planta cuja capacidade está entre 10 MW e 100 MW é de \$5.000-15.000/kW [78]. As informações sobre o custo de operação e manutenção são escassas do OTEC, assim como o uso da terra, uma vez que existem poucos protótipos em operação e ainda não são produzidos em escala comercial. Estima-se que o custo de O&M do OTEC seja entre 1,5% e 1,7% do custo de investimento [82].

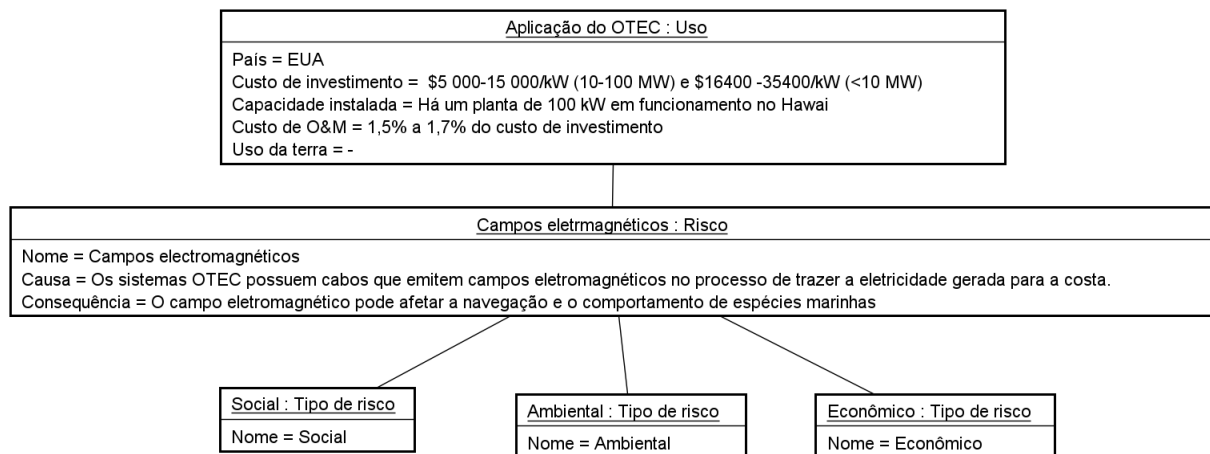


Figura 3.17: Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC e o seu risco

O uso do OTEC apresenta riscos, impactos socioambientais e uma legislação que rege a aplicação da tecnologia. Um exemplo de risco, de acordo com a Figura 3.17, é causado pelos cabos, que emitem campos eletromagnéticos no processo de trazer a eletricidade gerada para a costa. Conseqüentemente, o campo eletromagnético pode afetar tanto a

navegação quanto o comportamento de espécies marinhas [83]. O natureza do risco é social, ambiental e econômica.

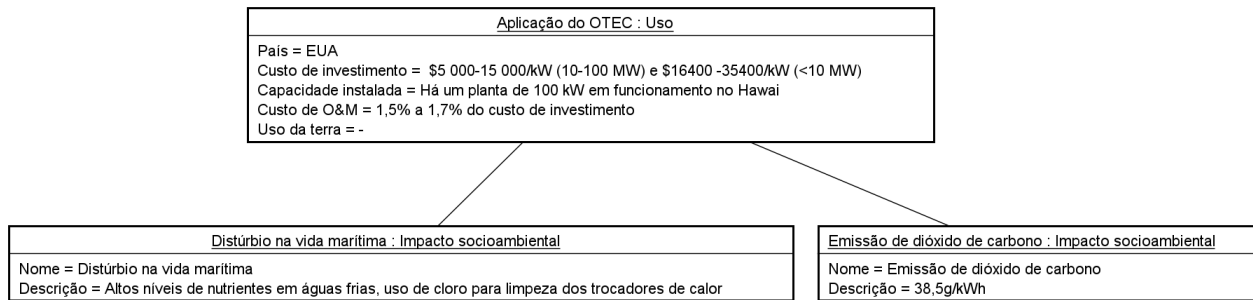


Figura 3.18: Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC e o seu impacto socioambiental

Os impactos socioambientais do uso do OTEC englobam a poluição visual, distúrbios na vida marítima e uso de substâncias tóxicas aos seres vivos, por exemplo o uso de cloro para limpar os trocadores de calor [84], conforme pode ser visto na Figura 3.18. Outro tipo de impacto consiste no fato da água fria ser bombeada de 1.000 m de profundidade e descarregada a 130 m, sendo que a elevada profundidade possui altos valores de nutrientes e pode ser prejudicial a vida marinha quando tais nutrientes atingem profundidades menores. Além disso, percebe-se que a emissão de poluente pode estar associada a libertação de CO₂ das águas mais frias. O fluxo de água fria tem CO₂ dissolvido na água e pressões elevadas. Sendo assim, parte do gás será libertado devido a temperaturas elevadas e alívio de pressão em função da proximidade com a superfície [84]. Por ser uma tecnologia que se encontra na fase de prototipagem e ainda não ser competitiva no mercado, não existem muitos estudos que abordam a emissão de CO₂ e a criação de empregos do OTEC. A faixa de emissão de poluentes encontrada é de 0,8 a 38,5 g CO₂/kWh [85] [84] e não foram encontrados valores relativos a criação de empregos e uso da terra.

Conforme já mencionado, o OTEC é uma tecnologia ainda não comercializável em larga escala e, portanto, existem poucas legislações associadas ao seu uso. Na Figura 3.19 revela a existência de um Ato de 1980 sobre OTEC. Este ato autoriza e regula a construção, localização, propriedade e operação das instalações da OTEC localizadas no

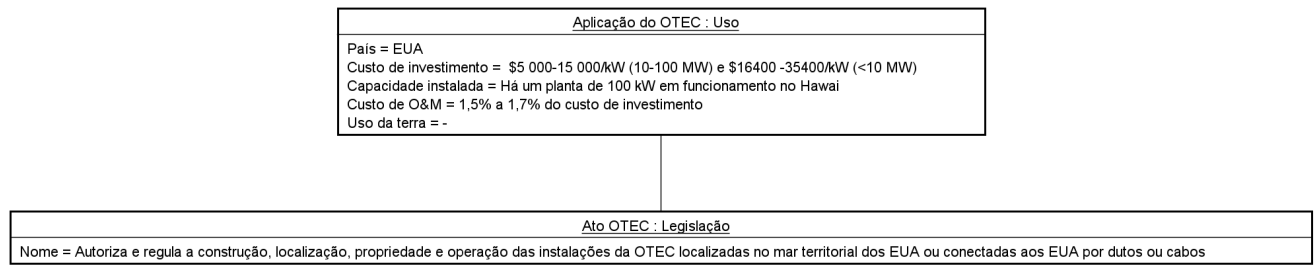


Figura 3.19: Diagrama de objetos o uso da tecnologia de conversão OTEC e a sua legislação

mar territorial dos EUA ou conectadas aos EUA por dutos ou cabos com o objetivo de reduzir a dependência do país em relação aos recursos energéticos externos e promover o desenvolvimento de novas tecnologias de conversão de energia [86].

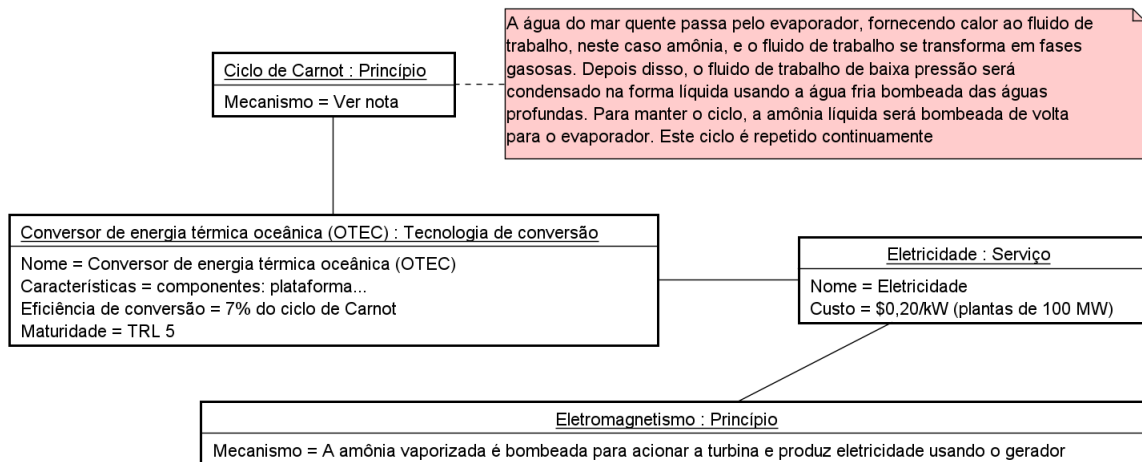


Figura 3.20: Diagrama de objetos da tecnologia de conversão OTEC, serviço e os seus princípios

A Figura 3.20 mostra a geração da uso final da energia oceânica através do OTEC. Para isso, se segue o princípio da Segunda Lei da Termodinâmica e do Ciclo de Carnot. A tecnologia funciona basicamente como uma máquina térmica: a água do mar quente passa pelo evaporador, fornecendo calor ao fluido de trabalho, neste caso amônia, e o fluido de trabalho se transforma em fases gasosas. Depois disso, o fluido de trabalho de baixa pressão será condensado na forma líquida usando a água fria bombeada das

águas profundas. Para manter o ciclo, a amônia líquida será bombeada de volta para o evaporador. Este ciclo é repetido continuamente [87]. A eletricidade é gerada através do princípio do eletromagnetismo, isto é, a amônia vaporizada é bombeada para acionar a turbina e produz eletricidade [87]. O serviço obtido é a eletricidade e o custo médio estimado do serviço, levando em conta que o OTEC possui capacidade de 100 MW e esteja em uma escala comercializável é de \$ 0,20/kWh [88].

A visão geral do modelo do OTEC usando o oceano como recurso pode ser vista na Figura 3.21.

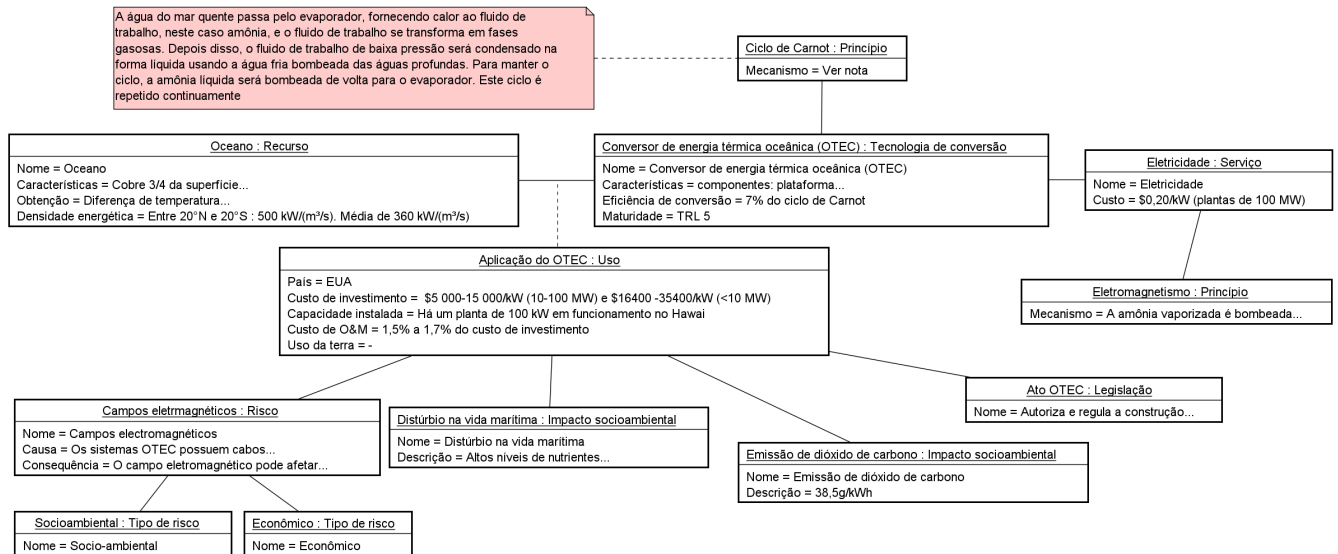


Figura 3.21: Diagrama de objetos sobre os principais conceitos do OTEC

Capítulo 4

Conclusão e Trabalhos futuros

4.1 Conclusão

Este trabalho mostrou como organizar e unificar as informações sobre tecnologias de conversão usando um diagrama de classes. Os principais conceitos sobre o tema foram agrupados em classes como Recursos, Tecnologia de Conversão, Serviço, Uso Princípio, Legislação, Riscos e Impactos Socioambientais e em atributos que caracterizam cada instância de uma classe.

Exemplos de aplicação do diagrama foram dados, utilizando os recursos eólico e oceânico e as tecnologias de conversão Turbina eólica de eixo horizontal *onshore* e o Conversor de energia térmica oceânica, respectivamente. Pode-se notar através dos exemplos que o grau de maturidade das tecnologias afeta diretamente o seu custo de investimento, capacidade instalada e custo do serviço. Para se tomar a decisão de se instalar uma determinada tecnologia de conversão, deve-se a ter ainda com relação a disponibilidade geográfica do recurso.

Esse modelo permite organizar informações relacionadas ao tópico de maneira mais dinâmica, sem nenhum interesse na disseminação de vantagens ou desvantagens de tecnologias, permitindo identificar e classificar a maneira organizada e clara como as tecnologias de conversão.

4.2 Trabalhos futuros

É importante enfatizar que esse modelo elaborado pode ser enriquecido com novas pesquisas, reunindo a maior quantidade de informações utilizadas na literatura. Por exemplo, informações como a confiabilidade e a segurança das tecnologias de conversão, poderiam ter um valor que expressasse o seu grau para efeitos de comparação entre as tecnologias, assim como é feito com a maturidade. Uma sugestão de trabalho futuro seria agrupar as tecnologias de conversão de acordo com a confiabilidade e segurança que apresentam e estabelecer um nível para cada uma.

Uma possibilidade interessante e que facilitaria a compilação das informações no modelo para uma aplicação futura, seria um trabalho que abordasse as principais tecnologias de conversão, recursos, e informações sobre o serviço, princípios, impactos ambientais, riscos e legislação. Já foi desenvolvido um trabalho similar, porém com enfoque no serviço "eletricidade" e que não contém dados acerca todas as classes e atributos propostos.

Outra possibilidade de trabalho seria a aplicação do modelo desenvolvido no desenvolvimento de plataformas digitais, seja *sites* ou aplicativos para celular. Esta aplicação objetiviza a praticidade, viabiliza e unifica o acesso às informações sobre o tema em questão, permitindo que as pessoas leigas e não leigas no assunto sejam providas de dados reais, claros e objetivos.

Referências

- [1] T. Searchinger, T. Beringer, B. Holtsmark, D. M. Kammen, E. F. Lambin, W. Lucht, P. Raven e J.-P. van Ypersele, “Europe’s renewable energy directive poised to harm global forests”, *Nature Communications*, vol. 9, n.º 1, 2018.
- [2] J. Parrock, *The Brief: EU declares a climate emergency*, <https://www.euronews.com/2019/11/30/the-brief-eu-declares-a-climate-emergency>, 2019.
- [3] M. A. Moreira, *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*, http://www.cid.unir.br/uploads/444444444/arquivos/TAS_1490483223.pdf#page=41, 2010.
- [4] D. Küçük e Y. Arslan, “Semi-automatic construction of a domain ontology for wind energy using Wikipedia articles”, *Renewable Energy*, n.º 62, pp. 484–489, 2014.
- [5] F. Abanda, .H.M.Tah e D.Duce, “PV-TONS: A photovoltaic technology ontology system for the design of PV-systems”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, n.º 26, pp. 1399–1412, 2013.
- [6] E. Strantzali e K. Aravossis, “Decision making in renewable energy investments:A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n.º 56, pp. 1399–1412, 2016.
- [7] A. Kayed, “Renewable Energy Ontology”, *International Conference and Exhibition on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems*, pp. 144–148, 2013.
- [8] REN21, *About REN21*, <https://www.ren21.net/about-us/who-we-are/>, Accessed: 2020-02-06.
- [9] IRENA, *About IRENA*, <https://irena.org/aboutirena>, Accessed: 2020-02-06.

- [10] *Renewables 2019 Global Status Report*, <http://bit.ly/38Aaz5v>, Accessed: 2019-12-14, 2019.
- [11] T. de Contas Europeu, *Energias renováveis para um desenvolvimento rural sustentável: muitas sinergias possíveis, mas na sua maioria por explorar*, <http://bit.ly/3boauDj>, Accessed: 2020-02-09, 2018.
- [12] G. Boyle, B. Everett e J. Ramage, “Energy Systems and Sustainability: power for a sustainable future”, Oxford University Press, New York, USA: OXFORD, 2003, ISBN: 0-19-926179-2.
- [13] M. Seidl, M. Scholz, C. Huemer e G. Kappel, “UML @ Classroom: An Introduction to Object-Oriented Modeling”, Springer, 2012, ISBN: 978-3-89864-776-2.
- [14] *Diferenças entre UML e outras línguas*, <http://ptcomputador.com/P/computer-programming-languages/86600.html>, Accessed: 2020-05-14.
- [15] DEVMEDIA, *Orientação a Objetos: Da teoria à prática com a linguagem UML*, <https://www.devmedia.com.br/orientacao-a-objetos-da-teoria-a-pratica-com-a-linguagem-uml/34308>, Accessed: 2020-01-31, Maio de 2016.
- [16] *UML Linguagem de Modelagem Unificada*, http://www.etelg.com.br/paginaete/downloads/informatica/apostila_uml.pdf, Accessed: 2020-02-02.
- [17] D. Bell, “Fundamentos básicos de UML: O diagrama de classes”, em *Uma introdução aos diagramas de estrutura em UML 2*, IBM Corporation, 2016. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/br/rational/library/content/RationalEdge/sep04/bell/index.html>.
- [18] M. Contente, “Terminocriatividade, sinonímia e equivalência interlinguística e medicina”, Edições Colibri, 2008, ISBN: 9727728480.
- [19] F. Panichella, “Energias renováveis: dicionário terminológico da energia hidráulica em português brasileiro e seus aspectos fraseotermológicos”, em *Tese de doutorado*, Maringá, Paraná, Brasil: Universidade Estadual de Maringá (UEM), 2018. URL: http://www.ple.uem.br/defesas/pdf/fcpanichella_do.pdf.

- [20] I. S. Moraes, “Seminário em ciência da informação (SECIN)”, em *Ontologia: uma análise terminológico-conceitual no Congresso Internacional ONTOBRAS (2008-2015)*, UEL, 2016.
- [21] C. F. Alvim, O. C. Ferreira, F. Eidelman e J. Goldemberg, “Energia Final e Equivalente - Procedimento Simplificado de Conversão”, *Economia Energia*, n.º 18, 2000.
- [22] G. Alimonti, “Our energy future starts from actual energy limits”, em *EPJ Web of Conferences 189*, EDP Sciences., 2017, pp. 1–15.
- [23] G. Portugal, *Recursos naturais*, <http://www.gpca.com.br/gil/art80.htm>, 1992.
- [24] R. D. Dulley, “Noção de Natureza, Ambiente, Meio Ambiente, Recursos Ambientais e Recursos Naturais”, *Agric*, vol. 51, n.º 2, pp. 15–26, 2004.
- [25] J. T. Pinho e M. A. Galdino, *Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos*, <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>, Accessed: 2020-01-08, 2014.
- [26] *Centro de Ciência Viva de Tavira*, <https://www.cvtavira.pt/home/index.php?id=60>, Accessed: 2020-01-08.
- [27] U. F. do Rio Grandedo Sul (UFRGS), *Insolação Solar*, <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/insolacao.htm>.
- [28] *O Movimento anual do Sol*, http://www.miniweb.com.br/ciencias/artigos/movimento_sol.htm.
- [29] M. M. S. de Freitas, *Ventos alísios*, <https://www.infoescola.com/geografia/ventos-alisios/>.
- [30] P. Gipe, “Wind Power for Home Business: Renewable Energy for the 1990s and Beyond”, Chelsea Green, 1993, ISBN: 0930031644.
- [31] A. P. Picolo, A. J. Rühler e G. A. Rampinelli, “Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 36, n.º 4, 2014.

- [32] E. de Alves Redol, *Energia Elétrica*, <http://www.esar.edu.pt/galeriabe/picture.php?/119>, 2013.
- [33] ANEEL, *Atlas de energia elétrica do Brasil: Biomassa*, http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf, Accessed: 2020-01-13, 2002.
- [34] B. Portugal, *Biomassa: Resumo temático*, <http://bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/publ-2007-Biomassa.pdf>, Accessed: 2020-01-13.
- [35] T. Wilberforce, Z. El Hassan, A. Durrant, J. Thompson, B. Soudan e A. Olabi, “Overview of ocean power technology”, *Energy*, vol. 175, pp. 165–181, 2019.
- [36] F. Zabihian e A. S. Fung, “Review of marine renewable energies: Case study of Iran”, *Energy Reviews*, vol. 15, n.º 5, pp. 2461–2474, 2011.
- [37] W. B. Wan Nik, O. O. Sulaiman, R. Rosliza, Y. Prawoto e A. M. Muzathik, “Wave energy resource assessment and review of the technologies”, *International Journal of Energy and Environment*, vol. 2, n.º 6, pp. 1101–1112, 2013.
- [38] H. Titah-Benbouzid e M. Benbouzid, “Ocean wave energy extraction: Up-to-date technologies review and evaluation”, em *Proceedings - 2014 International Power Electronics and Application Conference and Exposition*, IEEE PEAC 2014, 2014, pp. 338–342. DOI: 10.1109/PEAC.2014.7037878. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4781063>.
- [39] I. Thorbjornsson, T. Sigfusson, G. Gunnarsson e G. Óskarsdóttir, “Future prospects of renewable energy production in Iceland”, em *World Renewable Energy Forum Exhibition*, 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/268576885_Future_prospects_of_renewable_energy_production_in_Iceland.
- [40] C. Fernandes, I. Henriques e R. Machado, *Geotermia: situação actual, perspectivas futuras e potenciais*, https://moodle.fct.unl.pt/pluginfile.php/72863/mod_resource/content/0/LECN/Geologia_Economica_e_Recursos_Energeticos/Geotermia.pdf, Accessed: 2020-01-11, 2007.

- [41] *Energia Geotérmica*, <https://pt.slideshare.net/filipemarinho12/energia-geotrmica-30766460>, 2011-2012.
- [42] D. Ribeiro, “Fissão Nuclear”, *Revista de Ciência Elementar*, vol. 2, n.º 4, 2014.
- [43] ANEEL, *Atlas de energia elétrica do Brasil: Energia Nuclear*, http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap8.pdf, Accessed: 2020-01-13, 2002.
- [44] —, *Atlas de energia elétrica do Brasil: Petróleo*, [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/07-Petroleo\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/07-Petroleo(2).pdf), Accessed: 2020-01-12, 2002.
- [45] J. E. Thomas, “Fundamentos da Engenharia de Petróleo”, Editora Interciência, 2001, ISBN: 85-7193-046-5.
- [46] Dicio, *Serviço*, <https://www.dicio.com.br/servico/>, Accessed: 2020-01-20.
- [47] M. da Conceição Marinho Oki, “A eletricidade e a química”, *Química Nova na escola*, n.º 12, pp. 34–37, 2000.
- [48] E. de Pesquisa Energética, *Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)*, [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf), 2017.
- [49] Y. A. Çengel e A. J. Ghajar, “Transferência de calor e massa: uma abordagem prática”, sér. 4ª ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: AMGH Editora Ltda., 2012, ISBN: 0073398128.
- [50] M. R. d. BARROSA, *Princípios Fundamentais da Transferência de Calor*, http://sites.poli.usp.br/p/jesse.rebello/termo/Trabalho_Transcal.pdf, Agosto de 2004.
- [51] A. M. Helmenstine, *How Does Electrical Energy Work?*, <https://www.thoughtco.com/electrical-energy-definition-and-examples-4119325>, Accessed: 2020-01-20, jun. de 2019.

- [52] U. E. I. Administration, *Electricity explained: how electricity is generated*, <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php>, Accessed: 2020-01-20, nov. de 2019.
- [53] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, “Fundamentos de Física”, sér. vol. 1, Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC, 2009.
- [54] H. Nussenzveig, “Física Básica 1 - Mecânica”, sér. 4ª ed. ,São Paulo, Brasil: Editora Edgard Blücher Ltda, 2010.
- [55] P. Tipler e G. Mosca, “Física para Cientistas e Engenheiros”, sér. 6ª ed. ,São Paulo, Brasil: LTC, 2009.
- [56] G. R. L. dos Santos, “Tecnologias de conversão de energia e suas dimensões: um modelo conceitual”, em *Tese de mestrado*, Bragança, Distrito de Bragança, Brasil: Instituto Politécnico de Bragança (IPB), 2019.
- [57] C. R.M.G, *Introdução à Cogeração*, http://www.marioloureiro.net/tecnica/co-trigeracao/Cogeracao_ed2p0.pdf, Accessed: 2020-02-04, Maio de 2009.
- [58] A. P. para a Eficiência Energética e Promoção da Cogeração (COGEN Portugal), *O que é a cogeração*, <https://www.cogenportugal.com/eficiencia-energetica/>, Accessed: 2020-02-04.
- [59] N. Aeronautics e S. Administration(NASA), *Technology Readiness Level*, https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html, 2012.
- [60] E. B. de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), *Vitrine Tecnológica*, <https://www.embrapa.br/meio-ambiente/vitrine>.
- [61] IRENA, *Renewable Power Generation Costs in 2018*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf, Accessed: 2020-04-23, 2019.
- [62] R. Dagnino e S. Junior, “Risco Ambiental: conceitos e aplicações”, *Estudos da Paisagem*, n.º 2, 2007.

- [63] M. F. Neto, *Tutorial da ferramenta de modelagem ASTAH*, <https://cutt.ly/5yFwWFL>.
- [64] R. Castro, “Introdução às energias Renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica”, IST Press, 2011.
- [65] *Wind Characteristics*, http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/wind/wind_characteristics.php, Accessed: 2020-04-26.
- [66] I. Troen e E. Lundtang Petersen, *European Wind Atlas*. Roskilde, Denmark: Riso National Laboratory, 1989, ISBN: 87-550-1482-8.
- [67] I. Yahyaoui e Cantero, *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, 1ª ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science, 2018, ISBN: 978-0-12-812959-3.
- [68] *Onshore vs Offshore Wind: What Are the Differences and Facts?*, <https://www.osce.org/baku/41362?download=true>.
- [69] IRENA, *Wind Power: Technology Brief*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA-ETSAP_Tech_Brief_Wind_Power_E07.pdf, Accessed: 2020-04-26, 2016.
- [70] ARENA, *Technology Readiness Levels for Renewable Energy Sectors*, <https://arena.gov.au/assets/2014/02/Technology-Readiness-Levels.pdf>, Accessed: 2020-04-26, 2014.
- [71] IRENA, *Future of wind*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf, Accessed: 2020-04-26, 2019.
- [72] L. Looper, *Are there any risks associated with the production of wind energy?*, <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/risks-associated-wind-energy1.htm>, Accessed: 2020-04-27.

- [73] Varun, I. Bhat e R. Prakash, “LCA of renewable energy for electricity generation systems—A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n.º 5, pp. 1067–1073, 2009.
- [74] IRENA, *Job Creation*, <https://www.irena.org/benefits/Job-Creation>, Accessed: 2020-05-27.
- [75] APREN, *Portugal*, <https://www.apren.pt/contents/files/wind-energy-international--portugal.pdf>, Accessed: 2020-04-27, 2013.
- [76] C. Woodford, *OTEC (ocean thermal energy conversion)*, <https://www.explainthatstuff.com/how-otec-works.html>, Accessed: 2020-04-30, 2020.
- [77] N. R. Council, “An Evaluation of the U.S. Department of Energy’s Marine and Hydrokinetic Resource Assessments”, Washington, DC, USA: The National Academies Press, 2013, ISBN: 978-0-309-26999-5. DOI: <https://doi.org/10.17226/18278>.
- [78] IRENA, *Ocean Thermal Energy Conversion: Technology Brief*, https://www.irena.org/documentdownloads/publications/ocean_thermal_energy_v4_web.pdf, Accessed: 2020-04-30, jun. de 2014.
- [79] M. Moran, H. Shapiro, D. Boettner e M. Bailey, “Fundamentals of engineering thermodynamics”, sér. 8^a ed. New York City, NY, USA: John Wiley Sons Inc, 2014, ISBN: 1118412931.
- [80] E. National Academies of Sciences e Medicine, “The Power of Change: Innovation for Development and Deployment of Increasingly Clean Electric Power Technologies”, Washington, DC, USA: The National Academies Pres, 2016. DOI: 10.17226/21712.. URL: <https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2016/09/21712.pdf>.
- [81] M. Vyawahare, *Hawaii First to Harness Deep-Ocean Temperatures for Power*, <https://www.scientificamerican.com/article/hawaii-first-to-harness-deep-ocean-temperatures-for-power/>, Agosto de 2015.

- [82] L. Vega, “Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)”, *Ocean Energy Recovery*, pp. 152–181, 1992.
- [83] *Energy and the Environment-A Coastal Perspective*, <http://coastalenergyandenvironment.web.unc.edu/ocean-energy-generating-technologies/ocean-thermal-energy-conversion/environmental-impacts-2/>, jul. de 2012.
- [84] R. Aalbers, “Life cycle assessment of ocean thermal energy conversion: The life cycle impact of electricity supply in small island regions”, em *Master thesis*, Delft, South Netherlands, Netherlands: Delft University of Technology, 2015. URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:98374b6c-e7d3-4837-b8a8-e134710d2e46?collection=education>.
- [85] H. Green e P. Guenther, *Carbon dioxide release from ocean thermal energy conversion (OTEC) cycles*, <https://www.osti.gov/servlets/purl/6467113>, Accessed: 2020-05-01, 1990.
- [86] V. Nanda, “The Legal Framework for the Development of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)”, *San Diego Law Review*, vol. 19, n.º 2, 1982.
- [87] L. Vega e D. Michaelis, “First Generation 50 MW OTEC Plantship for the Production of Electricity and Desalinated Water”, *Proceeding of offshore technology conference*, pp. 1–17, 2010.
- [88] IEA, *Levelized cost of energy for ocean energy technologies*, <https://www.ocean-energy-systems.org/documents/65931-cost-of-energy-for-ocean-energy-technologies-may-2015-final.pdf/>, 2015.