



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Rosana

Gabriel Cavalcante Albuquerque Maranhão

**DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS EM LOCAIS
INSULARES: ESTUDO DE CASO DE SVALBARD**

Rosana - SP
2024

Gabriel Cavalcante Albuquerque Maranhão

**DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS EM LOCAIS
INSULARES: ESTUDO DE CASO DE SVALBARD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia do Campus de Rosana, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos requisitos
para obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia de Energia.

Orientador (a): Maria Cláudia Costa de
Oliveira Botan

**Rosana - SP
2024**

M311d	<p>Maranhão, Gabriel Cavalcante Albuquerque Desafios da implementação de energias alternativas em locais insulares: estudo de caso de Svalbard / Gabriel Cavalcante Albuquerque Maranhão. -- Rosana, 2024 50 f. : tabs., fotos, mapas</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana Orientadora: Maria Cláudia Costa de Oliveira Botan</p> <p>1. ilhas. 2. Energia do vento. 3. polar regions. 4. Geração de energia fotovoltaica. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Experimental de Rosana

NOME COMPLETO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Maria Cláudia Costa de Oliveira Botan
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
UNESP-Rosana

Prof. Dr.. Leandro Ferreira Pinto
Membro Externo

Junho, 2024

“As coisas que mais importam nunca devem estar à mercê
das coisas que menos importam.”

- Johann Wolfgang Von Goethe.

RESUMO

A emergência na procura por fontes de energia sustentáveis ganhou proeminência internacional diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda energética. Em áreas distantes como Svalbard, caracterizadas por ecossistemas delicados e condições climáticas extremas, a produção de energia enfrenta desafios consideráveis. Avaliar a possibilidade de diversas fontes energéticas, levando em conta os obstáculos encontrados e possíveis soluções, mostra-se imperativo. Svalbard, situada no Círculo Ártico, atualmente baseia-se predominantemente em combustíveis fósseis, o que resulta em emissões significativas de carbono. A exploração de alternativas, tais como energias renováveis e sistemas híbridos, assume papel crucial nesse contexto. A pesquisa engloba uma análise do ciclo de vida das diferentes fontes, buscando avaliar as fontes de energia em uso atualmente, bem como os potenciais impactos sobre a fauna e a flora locais. Realizado por meio da revisão de literatura especializada, estudos comparativos com áreas semelhantes e uma análise SWOT, o estudo oferece uma perspectiva holística para orientar a transição para uma matriz energética mais sustentável. Adicionalmente, foi elaborada uma tabela comparativa para elucidar as vantagens e desvantagens de cada fonte de energia, auxiliando na identificação das opções mais viáveis para o contexto específico de Svalbard.

PALAVRAS-CHAVE: Climas extremos. Reservatórios de energia. Desafios energéticos. Energia renovável. Ilhas polares. Svalbard.

ABSTRACT

The urgency in the search for sustainable energy sources has gained international prominence in the face of challenges posed by climate change and increasing energy demand. In remote areas like Svalbard, characterized by delicate ecosystems and extreme weather conditions, energy production faces considerable challenges. Assessing the feasibility of various energy sources, taking into account the obstacles encountered and potential solutions, is imperative. Svalbard, located in the Arctic Circle, currently relies predominantly on fossil fuels, resulting in significant carbon emissions. Exploring alternatives such as renewable energies and hybrid systems plays a crucial role in this context. The research encompasses an analysis of the life cycle of different sources, aiming to assess the energy sources currently in use as well as the potential impacts on local fauna and flora. Conducted through specialized literature review, comparative studies with similar areas, and a SWOT analysis, the study offers a comprehensive perspective to guide the transition to a more sustainable energy matrix. Additionally, a comparative table was developed to elucidate the advantages and disadvantages of each energy source, aiding in identifying the most viable options for the specific context of Svalbard.

KEYWORDS: Extreme climates. Energy reservoirs. Energy challenges. Renewable energy. Polar islands. Svalbard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização geográfica do arquipélago de Spitsbergen	11
Figura 2 – Ecossistema com montanhas, tundra e renas de Svalbard	14
Figura 3 – Pintura sobre baleismo no século 16 em Spitsbergen.....	18
Figura 4 – Mina de carvão em Svalbard.....	19
Figura 5 – Strandflat no sudoeste de Spitsbergen.....	21
Figura6– Mapa de relevo e altitude Spistbergen e Nordaustlandet	22
Figura7– Mapa das diferentes formações geológicas de Svalbard.....	24
Figura8– Mapa de colônias de aves marinhas em Svalbard	26
Figura9–Airos de Brunich	27
Figura 10– Horas media de luz solar por mês durante um ano.....	30
Figura11– Analise SWOT de energia Fotovoltaica	34
Figura12– Analise SWOT de energia de combustão.....	39
Figura13– Gráfico de geração Onshore de energia eólica durante ano e pelo horário.....	41
Figura14– Analise SWOT de energia eólica	43
Figura15– Analise SWOT de energia hibrida.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

KW Quilo Watt

NOK Coroa norueguesa

R\$ Reais

kWh Quilo Watt Hora

GWh Giga Watt Hora

°C Graus Celsius

m² Metro quadrado

km² Quilometro quadrado

m/s Metros por segundo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Fontes Energéticas Atuais em Svalbard	12
1.2	Explorando Outras Fontes de Energia	13
1.3	Análise de Ciclo de Vida das Fontes de Energia	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivos Específicos	15
3	DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	17
3.1	Contexto histórico de Svalbard	17
3.1.1	Era pré colonial mineradora	17
3.1.2	Era mineradora	18
3.1.3	Tratado e ato de Svalbard	19
3.1.4	(1945-1970): Segunda guerra e guerra fria	20
3.1.5	Normalização e era moderna	20
3.2	Geomorfologia e clima local	20
3.2.1	Geografia e geleiras	20
3.2.2	Clima	22
3.2.3	Geologia e geomorfologia	23
3.2.4	Atividade Fluvial e Rios/Lagos	24
3.3	Fauna e flora	25
3.4	Matriz energética	27
3.5	Energias Fotovoltaicas	28
3.5.1	Desafios da fotovoltaica	30
3.6	Energia a combustão	31
3.7	Energia Eólica	33
3.8	Energias Híbridas	35
4	METODOLOGIA	36
5	RESULTADOS E DISCUSSOES	37
5.1	Energia Fotovoltaica	37
5.1.1	SWOT da fonte fotovoltaica	39
5.2	Energia a combustão	40
5.2.1	SWOT da energia de combustão	41
5.3	Energia Eólica	42
5.3.1	SWOT da fonte eólica	43
5.4	Energias Híbridas	44
5.4.1	SWOT da fonte híbrida	45
6	CONCLUSÃO	46

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia sustentáveis e ambientalmente amigáveis tornou-se uma prioridade global diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente demanda energética. Em regiões remotas e inóspitas, como a Ilha de Svalbard na Noruega, localizada no extremo Ártico, a complexidade da geração e distribuição de energia é agravada pelas severas condições climáticas e geográficas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar e analisar a viabilidade do uso de diversas fontes de energia em Svalbard e as problemáticas de acordo com elas e sua transição energética, considerando suas características particulares e identificando as dificuldades e soluções relacionadas à geração de energia em um ambiente polar com clima extremo e insular.

A Ilha de Svalbard, localizada no Círculo Ártico e no Atlântico Norte, é um arquipélago que faz parte do território marinho insular sob jurisdição norueguesa. Este arquipélago encontra-se a uma distância de 800 quilômetros do território continental da Noruega tal como visto na Figura 1.

Figura 1. Localização geográfica do arquipélago de Spitsbergen e Svalbard (borda vermelha).



Fonte: Imagem extraída do software Google Maps em 22 de dez 2023.

A população residente em Svalbard é heterogênea, compreendendo cientistas, habitantes locais e comunidades nativas tal como diversos grupos internacionais, com a economia regional predominantemente sustentada pelas atividades relacionadas ao turismo e à mineração.

No contexto da Ilha de Svalbard, a questão da diversificação da matriz energética emerge como uma pauta de elevada relevância. Tal relevância deriva da necessidade premente de garantir o suprimento ininterrupto de energia na região, ao mesmo tempo em que se busca mitigar o impacto ambiental decorrente das atividades energéticas. Este imperativo é particularmente crucial, dado o contexto geográfico e ambiental sensível de Svalbard, onde a vulnerabilidade às mudanças climáticas e os efeitos diretos da atividade humana sobre o ecossistema local são acentuados

1.1 Fontes Energéticas Atuais em Svalbard

Atualmente, a ilha de Svalbard depende principalmente de fontes de energia questão de origens não renováveis, como o uso intensivo de carvão minerado localmente desde o início do século 20 e também com uso de óleo diesel para geração adicional de energia em períodos de alta demanda (MIDTTΦMME, 2015).

A central termelétrica que opera com base na utilização de carvão ocupa uma posição de destaque e relevância primordial no contexto do fornecimento de energia elétrica na região de Longyearbyen. Não obstante a sua importância no âmbito energético é imperativo reconhecer que essa instalação também desencadeia uma série de preocupações ambientais de significativa magnitude devido às situações ambientais e fragilidade da biota local.

As considerações a respeito das emissões de gases de efeito estufa associadas à operação da termelétrica não podem ser subestimadas, pois ela contribui substancialmente para a carga de poluentes atmosféricos e para o agravamento do fenômeno do efeito estufa na região. Além disso, a própria extração de carvão, que serve como matéria-prima para a geração de energia, engendra processos de mineração que impõem um considerável impacto ambiental, caracterizado por problemas de degradação do solo, erosão, efeitos sobre a biodiversidade local e outros desdobramentos nocivos (RINGKJØB et al, 2020). Sendo assim se torna necessária a procura de alternativas para ampliar a matriz energética e aumentar independência dessas fontes.

1.2 Explorando Outras Fontes de Energia

Para mitigar a dependência de combustíveis fósseis como parte de um esforço para promover a sustentabilidade energética em regiões polares, como a Ilha de Svalbard, é imperativo considerar a exploração de fontes energéticas alternativas que se harmonizem com o ambiente específico deste território ártico. Dentro deste contexto, emerge a pertinência de investigar a viabilidade do aproveitamento de recursos naturais locais, notadamente a energia geotérmica e a energia hidrelétrica, como opções estratégicas.

A energia geotérmica, advinda do calor interno da Terra, desponta como uma alternativa altamente promissora para suprir as necessidades de geração de eletricidade e aquecimento em Svalbard. A região possui um potencial geotérmico considerável, tornando possível a exploração eficiente dessa fonte de energia renovável. Por meio da captação e conversão do calor terrestre, é factível abastecer sistemas de produção de eletricidade e prover aquecimento, atendendo, assim, às demandas energéticas da ilha de maneira ambientalmente responsável e sustentável. Esta abordagem não apenas contribuiria para a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de fontes não renováveis, mas também minimizaria as emissões de gases de efeito estufa associadas ao uso de combustíveis fósseis (NYMANN et al, 2018).

1.3 Análise de Ciclo de Vida das Fontes de Energia

A avaliação da viabilidade de várias fontes de energia em Svalbard é uma tarefa complexa e crítica que exige uma análise abrangente dos ciclos de vida de cada tecnologia em consideração. Esta análise deve englobar uma variedade de fatores, incluindo, mas não se limitando a, os impactos ambientais, econômicos e sociais associados a cada fonte de energia potencial.

Em primeiro lugar, a análise de impacto ambiental é fundamental, uma vez que a região polar de Svalbard é particularmente sensível às mudanças climáticas devido a seu ecossistema tal como mostrado na Figura 2 e ao aumento das temperaturas. Portanto, é crucial examinar como cada fonte de energia afeta o meio ambiente local e global. Isso inclui a consideração das emissões de gases de efeito estufa, a degradação do solo, os impactos sobre a biodiversidade e os recursos hídricos, bem como a gestão adequada dos resíduos gerados pelas instalações energéticas.

Figura 2. Ecossistema com montanhas, tundra e renas de Svalbard.



Fonte: Encyclopaedia Britannica 2021.

Além disso, a análise econômica desempenha um papel importante na determinação da viabilidade das fontes de energia em Svalbard. Isso envolve a avaliação dos custos de instalação, operação e manutenção de cada tecnologia, bem como a previsão de custos futuros, considerando fatores como variações nos preços dos combustíveis e nas políticas de subsídios governamentais. Também é essencial analisar os benefícios econômicos, como a criação de empregos locais e o potencial para exportação de energia excedente.

Por fim, a dimensão social não pode ser negligenciada. A análise deve levar em conta como cada fonte de energia afeta a comunidade local em termos de emprego, saúde, qualidade de vida e segurança energética. Isso envolve considerar a aceitação social das tecnologias e as preocupações das partes interessadas, como cientistas, moradores locais e comunidades nativas.

Estudos anteriores, como o realizado por (NYMANN et al. 2018), destacam a importância de abordar questões como a eficiência energética, as emissões de gases de efeito estufa e os custos associados às diferentes opções de energia em um ambiente polar.

2 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma avaliação abrangente da viabilidade do uso de diversas fontes de energia na Ilha de Svalbard, necessidade da qual foi dada devido à transição e necessidade de energias mais limpas para ficar de acordo com as políticas ambientais do local que é uma conhecida área de preservação ambiental, sendo para essa estudo considerando suas características únicas de localização, natureza e os desafios impostos pelo ambiente polar com clima extremo, insular tal como o desafio logístico local. Para atingir esse objetivo, os seguintes objetivos específicos serão perseguidos:

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar as fontes energéticas atualmente em uso na ilha: Realizar uma análise detalhada das fontes de energia atualmente em operação em Svalbard, incluindo sua eficiência, custos e impactos ambientais. Isso incluirá a avaliação das emissões de gases de efeito estufa associadas às fontes existentes, como a central termelétrica baseada em carvão.

Explorar e investigar outras possíveis fontes de energia: Investigar e avaliar fontes de energia alternativas que sejam apropriadas para o ambiente polar da Ilha de Svalbard, com ênfase nas energias geotérmica e hidrelétrica. Será examinado o potencial de aproveitamento de recursos naturais locais para suprir as demandas energéticas da ilha de forma sustentável.

Realizar uma análise de ciclo de vida das fontes de energia consideradas: Conduzir uma análise abrangente do ciclo de vida de cada fonte de energia em consideração, considerando os impactos ambientais, econômicos e sociais ao longo de todo o processo, desde a extração ou geração até o descarte ou desativação.

Tabular e apresentar resultados com pontos positivos e negativos: Organizar os resultados em tabelas e gráficos que destacam de forma clara os pontos positivos e negativos de cada fonte de energia avaliada, enfatizando a viabilidade de transição energética e a minimização do impacto ambiental.

Ao alcançar esses objetivos específicos, este estudo tem como meta fundamental contribuir com conhecimentos essenciais para o desenvolvimento de uma matriz energética

mais sustentável e resistente na Ilha de Svalbard. Mais do que isso, busca-se estabelecer um precedente inspirador que possa servir como modelo para a adoção de abordagens semelhantes em regiões remotas e adversas ao redor do mundo. Essas regiões, caracterizadas por desafios climáticos e geográficos significativos, enfrentam uma necessidade premente de transição energética para lidar eficazmente com os problemas das mudanças climáticas e o aumento da demanda por energia. Portanto, este estudo aspira a ser um farol de orientação para tais regiões, oferecendo soluções e estratégias adaptadas aos seus contextos únicos e desafiadores.

3 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

3.1 Contexto histórico de Svalbard

3.1.1 Era pré-colonial mineradora

Svalbard é um arquipélago localizado no Oceano Ártico acima da Europa continental e no extremo noroeste do mar de Barents. O arquipélago encontra-se a uma distância de A 800 km ao norte da Noruega continental, o arquipélago é delimitado a oeste pela Groenlândia sendo esse um território pertencente à Dinamarca, e a leste pela Terra de Francisco José, que faz parte do território russo. O nome "Svalbard" é derivado do nórdico antigo e tem como significando "costa fria," substituindo assim, mas também sendo conhecida pelo anterior nome holandês de "Spitsbergen," que se traduzia como "montanhas abruptas." (HISDAL, 1998).

O arquipélago composto de nove ilhas principais, sendo a área total do arquipélago de 62.700 quilômetros quadrados, sendo a ilha de Spitsbergen a maior delas, ocupando uma área de 37.673 quilômetros quadrados.

A ilha inicialmente foi descoberta por Willem Barents um famoso navegador Holandês em 1596, instaurando como abrigo temporário para o baleismo, a caça à baleia francadoártico começou em 1611, sendo disputadas temporariamente por empresas de pesca inglesas e holandesas, as únicas estruturas no local eram bases para a caça das quais foram construídas durante o século XVII tal como observado na Figura 3, mas gradualmente a caça à baleia diminuiu e eventualmente deixou de ser lucrativa e foi abandonada, mas a partir do século XVIII algumas expedições científicas começaram a ocorrer. Inicialmente, essas expedições eram em grande escala, mas a partir do final do século XIX tornaram-se menores e cada vez mais focadas no interior da região e conseqüentemente perdendo a importância (HISDAL, 1998).

Figura 3: pintura sobre baleismo no século 16 em Spitsbergen com montanhas ao fundo



Fonte: Storck, 1690.

3.1.2 Era mineradora

Apenas em 1906 a Arctic Coal Company de Longyear iniciaria suas operações mineradoras na região fundando assim a cidade de mesmo nome e iniciando assim a extração de carvão das ilhas. A cidade de Longyearbyen é a maior cidade com população de 2617 habitantes (STATISTISK SENTRALBYRA. 2024) segundo o censo de 2024, é capital do território tal como o centro administrativo e financeiro, representa o assentamento humano permanente mais ao norte do mundo e foi batizado em homenagem a John Munro Longyear (1850-1922), com o crescimento da economia local e aumento de assentamentos pelo arquipélago iniciou uma disputa pelo território do qual na época era assentado por diversos países, então viu-se a necessidade de organização e entregar a soberania do local a algum país. A Figura 4 demonstra uma das minas antigas do arquipélago (HISDAL, 1998).

Figura 4: Mina de carvão em Svalbard



Fonte: MUSEET, Tekniska. The first coal wagon in 1918.

3.1.3 Tratado e ato de Svalbard

O tratado de Svalbard foi um tratado internacional assinado inicialmente por 14 países e registrado em conjunto do tratado da liga das nações em 9 de fevereiro de 1920 e posteriormente em 2018 sendo assinado ao todo por 46 países. O tratado teve como foco reconhecer a soberania do governo Norueguês sobre o arquipélago (ULFSTEIN, et al, 2023) e o transformando em uma zona livre de visto para todo o mundo tal como transformá-lo em um local desmilitarizado, todos os signatários receberam permissão para ter atividades comerciais na ilha (ROSSI, et al, 2016). Porém esse direito só é utilizado atualmente pela Noruega e Rússia, outros conteúdos do tratado é que os impostos e taxas são somente usados para o governo local, tendo como consequência baixos níveis de imposto e boa qualidade de vida, porém fim um dos artigos do tratado delimitam que a natureza e meio ambiente local deve ser preservado e respeitado.

O ato de Svalbard foi outro conjunto de leis assinadas pelo governo da Noruega em 17 de julho de 1925 e ela diz que as leis locais estão de acordo e juntas com as leis da Noruega continental, sendo dadas apenas algumas exceções especiais pra ilha tal como porte de arma facilitado.

3.1.4(1945-1970): Segunda guerra e guerra fria

Durante a segunda guerra mundial, inicialmente, apesar de a Alemanha ter dominado a Noruega, o arquipélago continuou alheio as mudanças da guerra até começar a ser demonstrado interesse soviético pelo local, por apresentar um local estratégico. Porém a idéia foi rejeitada pelo governo norueguês da época, em exílio, sendo por fim evacuada a ilha que acabou ocupada pela Alemanha nazista e bombardeada até o fim da guerra e posteriormente retomada a soberania pela Noruega que recomeçou sua reconstrução em conjunto com a União Soviética, onde ambas as nações desenvolveram suas próprias infraestruturas de maneira independente, incluindo a criação de serviços postais, estações de rádio e sistemas de transporte, porém essa relação se desgastou após a entrada da Noruega na OTAN tal como a proposição da Norsk Polar Navigasjon para fazer um aeroporto em 1958, sendo esse só aberto por fim em 1975 e localizado na capital(HISDAL, 1998.)

3.1.5 Normalização e era moderna

A "normalização" foi um termo adotado a partir dos anos de 1970 com o foco de transformar e mudar a visão internacional sobre a cidade de Longyearbyen a alterando para a visão de uma cidade de empresa em uma comunidade. Os primeiros passos democráticos no local foram com o estabelecimento do Conselho de Svalbard em 1971. O turismo se tornou uma fonte importante de economia com a criação de hotéis a partir do ano de 1990 vindo também diversas instituições de pesquisa tal como o Centro Universitário de Svalbard, a Estação de Satélite de Svalbard, e o Banco de Sementes Global de Svalbard, sendo nessa década também observada uma significativa redução de atividade e população russo sendo o assentamento de Pyramiden abandonado em 1998. De 1990 a 2011, a população russa e ucraniana diminuiu de 2.300 para 370, enquanto a população norueguesa aumentou de 1.100 para 2.000(STATISTISK SENTRALBYRA. 2013).

3.2 Geomorfologia e clima local

3.2.1 Geografia e geleiras

Svalbard ocupa uma posição geográfica que abrange as latitudes de 74° a 81° Norte, e

se estende entre as longitudes de 10° a 35° Leste. A maior parte de seu território é caracterizada por uma topografia montanhosa, notável por suas características acidentadas, encostas íngremes e a presença de vastos fiordes. Apenas algumas áreas costeiras se destacam como exceções, oferecendo terrenos mais planos.

As planícies costeiras são notáveis pela presença da "Strandflat", uma extensão de terreno de baixa altitude coberta por depósitos marinhos tal como mostrado na Figura 5. Essa formação é resultado da ação combinada da erosão causada pelo congelamento e da abrasão pelo mar durante os períodos interglaciais. A Strandflat pode variar em largura, indo desde áreas estreitas até locais com mais de 10 km de extensão, originando praias elevadas e terraços marinhos ao longo da costa(INGOLFSSON, 2004).

Figura 5. Strandflat no sudoeste de Spitsbergen.



Fonte: SwissEduc M. Hambrey, 2009.

Svalbard é pontuada por uma série de geleiras, variando em tamanho em toda a extensão do arquipélago. Estima-se que cerca de 60% do território esteja coberto por geleiras, muitas das quais avançam em direção ao mar. As geleiras próximas a áreas habitadas, como o centro do arquipélago, tendem a ser relativamente pequenas devido ao clima mais seco, mas geleiras de vale extensas e calotas de gelo são comuns ao longo das costas mais frias.

Figura 6: Mapa de relevo e altitude Spistbergen e Nordaustlandet e Barentsoya.



Fonte: Norwegian Polar Institute 2010.

3.2.2 Clima

O clima de Svalbard é o clima ártico e considerado de Tundra polar pela classificação Koeppen-Geiger, (KOTTEK et al., 2006) com temperatura média anual de cerca de -6°C na cidade e -15°C nas montanhas. Em Longyearbyen capital do território, o mês com clima mais frio é fevereiro, com temperaturas medias de $-15,2^{\circ}\text{C}$ na cidade e com o mês mais quente sendo julho, com media de temperaturas de $6, 2^{\circ}\text{C}$. A precipitação é baixa, sendo cerca de 200 mm no centro de cerca de 400-600 mm ao longo das costas com os meses com menos precipitação sendo abril e maio e fevereiro a março e agosto a setembro sendo relativamente úmidos. Além de precipitação comum também podem ocorrer nevascas durante o inverno, sendo a neve é o tipo dominante de precipitação no ano com pouca, porém presente participação das chuvas (HANSSEN; SOLÅS; STEFFENSEN. 1990).

Meteorologicamente a ilha fica numa zona de transição interpolar da qual é muito ativa, com ciclones gerando tempo instável e frequentemente tempestuoso com períodos de ventos muito fortes durante o inverno, e névoas são comuns durante o verão nas áreas costeiras. Abril e maio costumam ser calmos e ensolarados(ECKERSTORFER, et al. 2011).

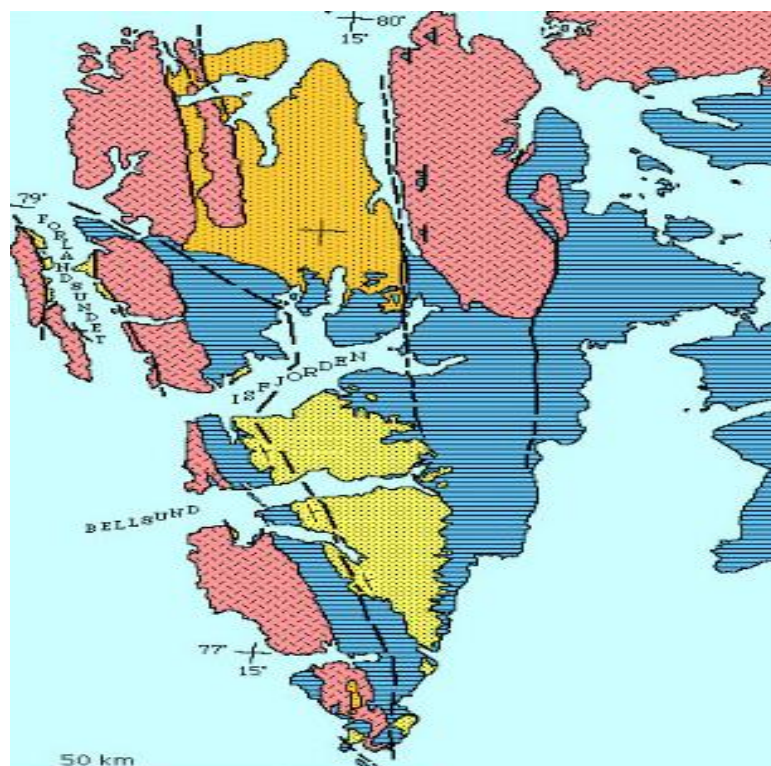
3.2.3 Geologia e geomorfologia

O arquipélago de Svalbard está situado na região conhecida como zona de permafrost contínuo, onde o solo apresenta características típicas de terreno glacial, permanecendo congelado indefinidamente, mesmo em áreas desprovidas de geleiras. Nas áreas costeiras, a espessura do permafrost varia de 10 a 40 metros, mas essa espessura aumenta significativamente, alcançando mais de 450 metros no interior do arquipélago. Além disso, uma série de fenômenos geomorfológicos, como pingos, cunhas de gelo e formações de concreções, são observados. Devido ao acúmulo substancial de neve nas encostas, a ocorrência de avalanches é comum(HJELLE, 1993).

Geologicamente, a ilha apresenta uma grande diversidade e riqueza, exibindo evidências claras e extensas de atividade tectônica apesar de não apresentar vulcanismo ativo. Os depósitos mais antigos remontam a aproximadamente 600 milhões de anos, quando Svalbard estava localizada no hemisfério sul. Há também depósitos significativos de arenito vermelho, formados no Devoniano, localizados no norte da ilha, com uma idade mais recente de cerca de 300 milhões de anos.

Além disso, extensas áreas de rochas expostas sem cobertura vegetal se estendem por mais de 11 km, alcançando alturas superiores a 1 km. A Bacia Terciária Central é dominante na geologia da parte central-sul de Spitsbergen, abrangendo desde a área de Isfjorden até Storfjorden. Os depósitos do Terciário Inferior nessa bacia consistem principalmente em arenitos e carvão de interesse comercial, que continuam a ser explorados até os dias de hoje(HJELLE, 1993). Tal como observado na Figura 7.

Figura 7: Mapa das diferentes formações geológicas de Svalbard



Fonte: Hjelle, 1993.

3.2.4 Atividade Fluvial e Rios/Lagos

A atividade fluvial no local desempenha um papel vital, especialmente durante o período de derretimento da neve no fim do inverno e no início da primavera em Svalbard onde todos os rios no arquipélago são formados temporariamente devido a esse degelo, mas permitindo que a vida floresça, principalmente em vales onde o fenômeno é mais comum também é possível encontrar grandes sistemas de rios drenando das geleiras transportando junto volumes grandes de sedimentos em direção as costas e aos fiordes, à medida que esses leitos de rio se secam durante o outono, ocorre à erosão eólica de sedimentos finos e frescos, esse processo finaliza com o retorno da neve e recongelamento desses locais (INGOLFSSON, 2004).

Svalbard tem relativamente poucos corpos hídricos permanentes sendo o mais relevante o lago de Bjørnøya, mas também com outros presentes sendo a maioria desses lagos está localizada na região de strandflat sendo no geral pequenos e rasos dos quais congelam por inteiro no inverno (ECKERSTORFER, et al. 2011).

3.3 Fauna e flora

Svalbard, localizado no Círculo Polar Ártico, é um lugar notável com habitats únicos e uma vida selvagem adaptada a condições extremas. As paisagens de tundra e oceanos congelados se estendem por essas ilhas, onde as tempestades de neve, ventos velozes e meses sem sol tornam a vida na região um desafio constante. Essas condições delicadas tornam a vida selvagem especialmente vulnerável a qualquer perturbação, tornando a conservação essencial.

Para proteger essa frágil biodiversidade, Svalbard estabeleceu extensas áreas de preservação. Mais de 65% da área terrestre e mais de 85% das águas territoriais são áreas protegidas, onde a intervenção humana é limitada. Além disso, existem diversos santuários de aves, reconhecendo a importância da região para a vida das aves marinhas (HARLAND et al, 1974). De fato, essas áreas de conservação não são apenas vitais para a biodiversidade, mas também exibem uma beleza excepcional e importância cultural, o que as coloca na lista de consideração para se tornarem locais do Patrimônio Mundial da UNESCO. (UNESCO, 2010).

A fauna local é notável. Entre os mamíferos, encontramos comumente o urso polar (*Ursus maritimus*), que não é endêmico, mas é bem adaptado ao ambiente local do qual possui uma considerável população de 1.900 a mais de 3.600 indivíduos. As renas de Svalbard (*Rangifer tarandus platyrhynchus*) são endêmicas e raras, desempenhando um papel importante na ecologia local e na cultura da região. Além disso, a raposa do Ártico (*Vulpes lagopus*) é um símbolo da conservação do Ártico, mostrando uma incrível capacidade de sobreviver em um ambiente hostil.

Figura 8: Mapa de colônias de aves marinhas em Svalbard



Fonte: The Seabirds in the Barents Sea Geir Wing Gabrielsen 2009.

Spitsbergen, a maior ilha de Svalbard, é um paraíso para aves, abrigando cerca de 30 espécies que se reproduzem regularmente. As aves mais numerosas são as Tordas (Alca), principalmente a Torda anã, uma pequena ave que raramente ultrapassa 22 cm e 160 g. Os Airos de Brunich (*Uria lomvia*) mostrado na Figura 8 reproduzem-se em colônias enormes. Gaiotas e três espécies de Mandriões também são comuns na região. Há também diversas espécies de patos tal como o Eider Real (*Somateria spectabilis*) um pato grande e raro que também habita o local (DESCAMPS et al., 2017).

Figura 9. Airos de Brunich.



Fonte: Sonja Ross, 2015.

O Mar de Barents é uma das áreas mais importantes do mundo para aves marinhas, abrigando cerca de 20 milhões de indivíduos durante o final do verão sendo visto diversas colônias enormes de aves tal como visto na Figura 8. Além disso, a região abriga de 15 a 20 tipos de mamíferos marinhos, incluindo baleias, golfinhos, focas e morsas (DESCAMPS et al., 2017). Em relação à flora, Svalbard apresenta uma vegetação ártica diversificada, que varia de baixa a alta tundra. Embora tenham sido identificadas 160 espécies de plantas no arquipélago, a cobertura vegetal é presente em cerca de 10% da ilha apenas. Apesar da baixa precipitação de água líquida as plantas ainda sim conseguem acesso à água devido ao clima frio que reduz a evaporação e perdas. A estação de crescimento é notavelmente curta, muitas vezes durando apenas algumas semanas, mas sendo suficiente para reprodução das mesmas (LEE et al, 2020).

3.4 Matriz energética

Longyearbyen é a maior cidade do arquipélago, abriga mais de $\frac{3}{4}$ da população, com cerca de 2.548 habitantes, de acordo com o censo de 2021. Os demais residentes, somando 378 pessoas, vivem em Barentsburg. Até o presente momento, a única fonte de energia de larga escala para toda a população local é o carvão, extraído na região e transformado em energia na usina termoeletrica local, apesar disso ainda se encontra em número menor a presença de algumas residências com geração solar, mas com geração não relevante

No entanto, a viabilidade desse modelo de geração de energia está agora ameaçada devido a períodos de baixa no preço do carvão, o que torna a continuação das operações pela

empresa estatal de mineração "Store Norske Spitsbergen Kulkompani" insustentável. Isso levou à necessidade de diversificar a matriz energética, especialmente devido ao fechamento permanente das minas subterrâneas de Svea e Lunckefjell da qual a decisão de fechar as minas foi principalmente devido a fatores econômicos relacionados aos altos custos operacionais e preocupações ambientais de que apesar de não ter degradação ambiental visível por ser minas de galeria nas montanhas, ainda sim causava contaminação de água e descarte de detritos, assim tornou as minas financeiramente insustentáveis. Além disso, houve um movimento em direção a fontes de energia renovável globalmente, reduzindo a demanda por carvão (SÖRLIN, 2022).

Essa decisão deixou a Mina Número 7, de menor porte, como a única mina de carvão ainda em operação, com o propósito principal de abastecer a usina termoelétrica em Longyearbyen. A quantidade de carvão restante na Mina Número 7 é suficiente para gerar energia pelos próximos dez anos, representando o prazo máximo para a expansão da matriz energética local.

É importante ressaltar que, devido ao fato de Longyearbyen abrigar a única usina elétrica a carvão da Noruega, existe uma ênfase especial na redução das emissões na região. Essa usina elétrica desempenha um papel central na infraestrutura energética do assentamento, fornecendo cerca de 40 GWh de eletricidade e 70 GWh de calor gerado, além dessa mina ainda existem 5 geradores a diesel para emergência ou períodos de pico de uso e seis caldeiras a óleo para gerar calor (RINGKJØB et al., 2020).

É importante destacar que, embora essa forma de geração seja eficiente, ela é altamente poluente e prejudicial para a produção de eletricidade em áreas com ecossistemas tão frágeis e sensíveis às alterações ambientais. A média de emissão de CO₂ por habitante em Svalbard é quase 50% superior à do país com a maior "produção" de CO₂, que é o Catar, com 44 toneladas per capita por ano. Em contraste, cada habitante em Svalbard emite cerca de 64 toneladas anualmente, sendo a maior parte desse valor atribuída ao elevado consumo de energia para aquecimento, uma necessidade significativa em um território polar.

Além desses métodos de geração tem adicionalmente apenas pequenas e concentradas presença de painéis fotovoltaicos e pequenas usinas eólicas(RINGKJØB et al. 2020).

3.5 Energias Fotovoltaicas

A energia fotovoltaica é um ramo da energia solar e desempenha um papel de suma importância nos meios de geração de energia no cenário energético global atual. Esse método

geração fundamenta-se na conversão direta da luz solar em energia elétrica através do uso de células fotovoltaicas

A operação da energia fotovoltaica repousa na notável capacidade dos semicondutores normalmente empregados em gerar uma corrente elétrica quando expostos à luz solar. Este fenômeno, conhecido como "efeito fotovoltaico", é absolutamente crucial para o funcionamento dos painéis solares. Em sua configuração mais comum, um painel solar é composto por várias células fotovoltaicas interligadas, tanto em série quanto em paralelo, com o intuito de aperfeiçoar a geração de eletricidade.

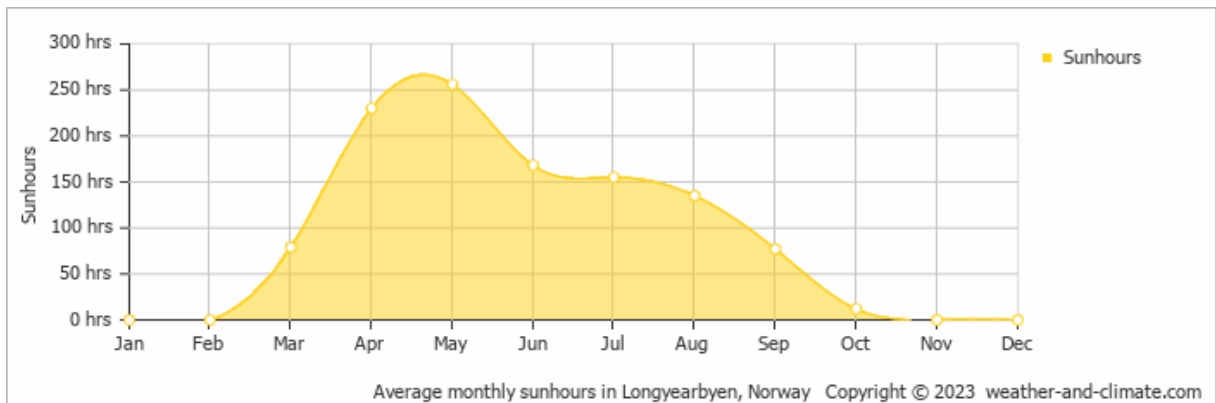
O processo de conversão de a luz solar em eletricidade tem início quando os fótons da luz solar colidem com os elétrons na superfície do material semicondutor da célula fotovoltaica. Essa interação fornece a energia necessária para liberar os elétrons de suas posições no átomo, gerando elétrons "carregados" ou elétrons livres. Esses elétrons livres são, então, direcionados a mover-se em uma direção preferencial devido ao campo elétrico gerado dentro do material semicondutor, formando, assim, a corrente elétrica, que pode ser coletada e utilizada como eletricidade (KNIER, 2002).

A eficiência da energia fotovoltaica depende de diversos fatores, incluindo a qualidade dos materiais, intensidade e duração da luz solar, a temperatura ambiente e o design dos painéis solares. Conforme a tecnologia continua a evoluir, os painéis solares estão se tornando mais eficazes e acessíveis, tornando a energia fotovoltaica uma fonte de energia cada vez mais viável e sustentável. Os modelos mais populares e os tipos de sistemas fotovoltaicos, como as placas solares, são amplamente adotados.

Svalbard hoje em dia apresenta déficit de energia fotovoltaica e o maior motivo disso é principalmente devido ao clima e baixa Luz solar onde é importante destacar que em Longyearbyen, a capital do arquipélago, as estações do ano são rígidas e bem definidas, e elas exercem uma influência extrema sobre a taxa de insolação e as horas de luz ao longo do dia, com meses como dezembro e janeiro experimentando ausência completa de irradiação e luz solar.

No entanto, a situação se transforma gradualmente em fevereiro, com um pico de aproximadamente 70 horas de luz, que aumenta mês a mês, atingindo um máximo significativo durante o verão, com impressionantes 256 horas de sol em maio. Este mês, por si só, representa 22,8% das 1118 horas anuais de sol recebidas pela cidade de Longyearbyen. No entanto, essa abundância de luz solar diminui progressivamente nos meses de outono e inverno, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Horas medias de luz solar por mês durante um ano.



Fonte: Weather and climate, 2023.

No entanto, em 2023, um programa piloto de testes implementou a instalação de 360 painéis solares distribuídos em seis linhas, com o objetivo de fornecer eletricidade a uma antiga estação de rádio local que hoje serve como um acampamento base. Esse projeto fotovoltaico é notável por ser o mais isolado e ao norte do mundo. O principal impulso por trás desse empreendimento foi aproveitar ao máximo o albedo da neve.

O albedo é uma medida que avalia a capacidade de uma superfície refletir a luz solar incidente, variando de 0 a 1 e representando a quantidade de energia refletida em relação à energia incidente. Quanto maior o albedo, maior a capacidade da superfície de refletir a luz solar. Além disso, o projeto também se beneficia dos longos períodos de sol, uma vez que os painéis não são utilizados durante o período de escuridão.

No entanto, esse tipo de projeto enfrenta desafios significativos. Além da dependência do sol, há a questão do descarte das placas solares, o que se torna complicado devido à impossibilidade de descartá-las localmente, uma vez que o território é uma reserva ambiental. Isso também gera desafios econômicos e logísticos, uma vez que o descarte deve ocorrer a uma grande distância, requerendo o transporte por barco por mais de 1000 km.

3.5.1 Desafios da fotovoltaica

A energia fotovoltaica enfrenta desafios significativos em locais polares, onde as condições extremas de temperatura e irradiação solar intensificam as variabilidades na eficiência dos painéis solares. Por exemplo, em comparação com painéis em regiões mais temperadas, os painéis solares em locais polares experimentam variações extremas de temperatura, oscilando entre longos períodos de -30°C no inverno e 20°C no caso do

arquipélago. Essas condições climáticas extremas podem impactar negativamente a eficiência da conversão solar em eletricidade.

Além disso, a luminosidade e o ângulo do raio solar também apresentam flutuações significativas, especialmente devido às mudanças sazonais extremas. No verão, ocorrem dias com 24 horas de sol ininterrupto, favorecendo uma excelente geração de energia. As temperaturas amenas durante essa estação também beneficiam a eficiência dos painéis, pois estes tendem a funcionar melhor em condições de baixa temperatura. O efeito albedo da neve, que aumenta a reflexão do sol pelo solo, contribui ainda mais para a geração de energia.

A topografia do local, caracterizada por vastas extensões de espaço e estruturas reforçadas para resistir à acumulação de neve, oferece uma oportunidade estrutural para a instalação de painéis solares, especialmente nos telhados. No entanto, o ponto negativo crítico é que, devido às condições climáticas adversas, a geração de energia fotovoltaica pode ser inviável durante metade do ano, quando o local está imerso na escuridão do inverno polar.

Além dos desafios climáticos, a poluição local também pode impactar a eficiência dos painéis solares, reduzindo a quantidade de luz solar incidente. Assim, apesar das vantagens sazonais e das características estruturais favoráveis, a energia fotovoltaica em locais polares enfrenta obstáculos substanciais que requerem soluções específicas para otimizar seu desempenho e viabilidade ao longo do ano.

3.6 Energia a combustão

A geração de eletricidade proveniente de combustíveis fósseis e bicompostíveis, como diesel, gasolina, álcool e gás, desempenham um papel crucial na matriz energética de Svalbard. Essa geração é essencial para garantir o fornecimento contínuo de eletricidade e atender à demanda energética geral, nesse contexto específico do arquipélago, a geração de energia por combustão é praticamente a única forma de produção, mantendo-se presente ao longo de quase um século. Inicialmente, minas de carvão foram estabelecidas para alimentar usinas locais, mas ao longo do tempo, muitas dessas minas foram descontinuadas, sendo parcialmente substituídas por geradores a diesel e caldeiras a óleo para geração de calor em situações específicas (RINGKJØB et al., 2020).

O funcionamento dessas usinas termelétricas baseia-se nos processos de combustão e conversão de energia química em energia elétrica. Cada tipo de combustível apresenta características distintas em termos de eficiência, custo e impacto ambiental.

As principais formas de geração de combustão são:

1. **Diesel:** A geração de eletricidade a partir de diesel envolve um motor a diesel que queima o combustível em uma câmara de combustão interna. A combustão do diesel gera um movimento mecânico, que é convertido em energia elétrica por meio de um alternador. Essa energia elétrica é então utilizada para alimentar sistemas elétricos e atender às necessidades de eletricidade em diversas aplicações, desde usos industriais até a geração de eletricidade em áreas remotas ou de difícil acesso. Embora o diesel tenha alta densidade energética, ele é frequentemente associado a emissões de poluentes, tornando-se menos atraente à medida que as preocupações ambientais crescem.
2. **Gasolina:** A geração de eletricidade a partir de gasolina segue princípios semelhantes aos do diesel, mas utiliza um motor a gasolina para a combustão do combustível. Esse processo gera energia mecânica, que é então convertida em eletricidade. No entanto, a gasolina é mais comumente usada em geradores de pequeno porte e em situações de emergência, devido à sua menor eficiência e maior custo em comparação com outras fontes de energia.
3. **Álcool (Etanol):** O etanol, frequentemente derivado de fontes biológicas, como cana-de-açúcar ou milho, é uma alternativa mais limpa para a geração de eletricidade. O etanol pode ser queimado em motores a combustão interna, semelhantes aos usados com gasolina e diesel. A geração de eletricidade a partir de etanol é mais sustentável em termos de emissões de carbono, e sua produção a partir de fontes renováveis contribui para a mitigação das mudanças climáticas.
4. **Gás Natural:** O gás natural é frequentemente utilizado para a geração de eletricidade em usinas de energia de grande escala. Nesse caso, o gás natural é queimado em turbinas a gás, cujo movimento rotativo é convertido em eletricidade por meio de geradores. O gás natural é uma fonte de energia mais limpa em comparação com o diesel e a gasolina, e tem ganhado destaque como uma alternativa mais eficiente e com menor emissão de carbono.

3.7 Energia Eólica

A geração de eletricidade por meio da energia eólica representa uma abordagem inovadora e sustentável que ganhou importância nas últimas décadas devido à crescente demanda por fontes de energia mais limpas e renováveis. Essa forma de produção de energia utiliza a captação da energia cinética do vento e sua conversão em eletricidade por meio de uma geradora, popularmente conhecida como turbinas eólicas. Em um cenário global onde enfrentamos desafios relacionados às mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, a energia eólica desempenha um papel crucial na busca por uma matriz energética mais sustentável.

O funcionamento da energia eólica está intrinsecamente ligado à eficaz e eficiente conversão da energia cinética do vento em eletricidade, sendo as turbinas eólicas peças centrais nesse processo. O princípio é relativamente simples: quando o vento incide sobre as pás de uma turbina eólica, exerce uma força que as faz girar. Essa rotação das pás está conectada a um gerador elétrico, que converte o movimento mecânico das pás em eletricidade. Utilizando o princípio da indução eletromagnética, o gerador gera corrente elétrica quando as pás estão em movimento, sendo essa corrente coletada e podendo ser transmitida para a rede elétrica ou armazenada para uso posterior.

A eficiência da energia eólica depende de diversos fatores, incluindo a velocidade e constância do vento, o design das turbinas eólicas e a localização geográfica. Nas regiões polares, como em Svalbard, os desafios são ainda mais específicos devido a condições meteorológicas extremas, temperaturas extremas e longos períodos de escuridão. A localização única de Svalbard destaca-se como ideal para explorar o vasto potencial da energia eólica, graças aos seus ventos árticos fortes e consistentes. (NYMANN et al, 2018).

Svalbard, ao vivenciar ventos fortes e consistentes ao longo do ano devido à sua localização ártica, pode posicionar estrategicamente turbinas eólicas para aproveitar esse recurso abundante e gerar eletricidade limpa e sustentável. As variações sazonais, como os períodos de escuridão contínua durante o inverno, evidenciam a necessidade de soluções de armazenamento de energia. Combinar energia eólica com tecnologias avançadas de armazenamento, como baterias, permite que Svalbard armazene o excedente de energia durante condições de vento máximo e o utilize quando a demanda é alta ou quando os ventos estão calmos (GROCHOWICZ, et al 2021).

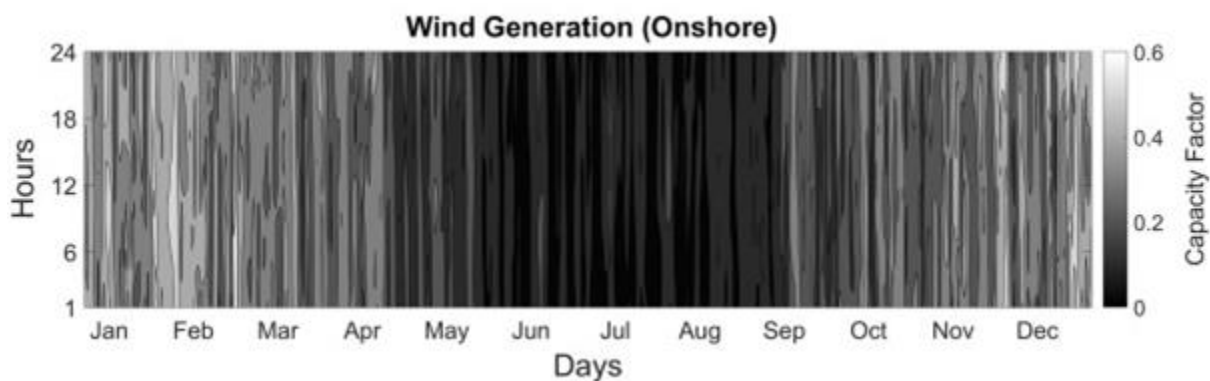
Além disso, vale ressaltar que a energia eólica se destaca não apenas por sua eficácia na geração de eletricidade, mas também pela reduzida pegada ambiental em comparação com

os combustíveis fósseis convencionais. Em particular, sua capacidade de gerar emissões mínimas de gases de efeito estufa é de suma importância em regiões ecologicamente sensíveis, como Svalbard, onde a minimização do impacto ambiental é uma consideração primordial. As turbinas eólicas, quando comparadas a muitas outras formas de infraestrutura energética, ostentam uma pegada ambiental relativamente diminuta, consolidando-se como uma alternativa ecologicamente amigável. (SAIDUR, et al, 2011)

No entanto, a implementação de projetos de energia eólica não está isenta de desafios, especialmente no que concerne aos potenciais impactos adversos sobre a fauna local. Durante a fase de construção, as atividades associadas, como a produção de ruídos elevados, vibrações decorrentes da instalação de fundações e a perturbação do solo, podem ser prejudiciais para os animais da região. Posteriormente, as turbinas eólicas apresentam desafios específicos, incluindo o risco de colisões com aves devido ao movimento das pás, possíveis vazamentos de óleo, e a emissão de vibrações do solo e campos elétricos.

As informações sobre a velocidade do vento, geração de energia e outros foram obtidas por meio da análise de artigos científicos e dados fornecidos pelo governo local (Figura 11). A velocidade dos ventos na região de Longyearbyen e seus arredores apresentam variações consideráveis ao longo do ano. Estudos e pesquisas meteorológicas indicaram uma média de 7m/s durante o inverno e verão, com velocidades mais baixas, em média 4,2m/s, em agosto.(GROCHOWICZ, et al 2021).

Figura 11: Gráfico de geração Onshore de energia eólica durante ano e pelo horário.



Fonte: RINGKJØB 2020

3.8 Energias Híbridas

Na busca por soluções de energia sustentáveis e confiáveis, os sistemas de energia híbrida surgem como uma abordagem inovadora, especialmente em regiões remotas e isoladas, como Svalbard. Um sistema de energia híbrida envolve a integração perfeita de múltiplas fontes, atenuando as limitações dos métodos individuais de geração de energia e proporcionando um suprimento de energia mais diversificado e confiável.

Em Svalbard, onde condições climáticas extremas e isolamento geográfico representam desafios significativos, um sistema de energia híbrida poderia combinar várias fontes, como solar, eólica e possivelmente fontes tradicionais, como geradores a diesel. Dependendo exclusivamente de um único método de geração de energia torna-se impraticável nesses ambientes devido às limitações inerentes de cada fonte. Por exemplo, a energia solar é consistente durante as horas de luz do dia, mas a região experimenta longos períodos de noite polares, tornando a energia solar sozinha insuficiente. Da mesma forma, a energia eólica pode ser intermitente, e depender apenas dessa fonte pode resultar em períodos de escassez de energia. (NYMANN et al, 2018).

4 METODOLOGIA

Para a condução do presente estudo, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico com o propósito de investigar os desafios e problemáticas relacionados à implementação de fontes de energia alternativas no arquipélago de Svalbard. Este trabalho se fundamenta em informações provenientes de artigos científicos e dados disponibilizados por órgãos governamentais pertinentes a cada área de estudo, com particular ênfase nas informações publicadas nos últimos anos.

Os principais recursos de pesquisa adotados incluem o Google Acadêmico, bem como boletins emitidos pelo Ministério do Petróleo e Energia (OED), e os arquivos da Universidade Centro de Svalbard (UNIS). Além disso, foram consultados dados obtidos por meio da Agência Espacial Européia (ESA) e da Agência Espacial Norueguesa (NOSA) para a obtenção de informações baseadas em sistemas de posicionamento global por satélite (GNSS) e dados meteorológicos.

Foi também utilizada como metodologia análise SWOT. A análise SWOT é uma técnica analítica que identifica os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças de um projeto o ajudando a ter melhorias e entender seus pontos e possíveis problemas (LEIGH, 2009).

Para a coleta de informações locais, como dados demográficos da população, capacidade de geração de energia elétrica (em quilowatts), custos energéticos (em coroas norueguesas - NOK e reais - R\$), foram utilizadas bases de dados e tabelas disponíveis no web site do governo local, especificamente no portal do Sysselimesteren på Svalbard.

5 RESULTADOS E DISCUSSOES

5.1 Energia Fotovoltaica

Como resultado da pesquisa no uso da fotovoltaica, se for considerado que para ter independência energética através da geração apenas de energia fotovoltaica deve-se levar que a quantidade de geração necessária seja igual ou superior a da usina de carvão usada atualmente, da qual tem geração de 40Gwh tem-se que primeiramente que ver qual a média de incidência solar no local.

A coleta de dados relativos à energia solar em Ny-Ålesund que é um assentamento em Svalbard e com mais informações meteorológicas e dados de incidência solar é conduzida pelo Instituto Alfred Wegener, Centro Helmholtz de Pesquisa Polar e Marinha. O conjunto de dados abrange um período de 18 anos, compreendendo de 1º de agosto de 1993 a 31 de julho de 2011. Os registros brutos anteriores a 1998 são efetuados em intervalos de 5 minutos, enquanto a partir de 1998 a periodicidade passa a ser de 1 minuto. Para fins de simplificação, apenas os dados a partir de 1998 são considerados com exceção de alguns anos sem dados (SOLBAKKEN et al, 2016), outra fonte foi a baseado na geração dos geradores fotovoltaicos do aeroporto dos quais geram em média 0, 075GWh por ano numa área de 700 metros quadrados, tendo uma média de geração de 107, 1428 kWh/m² por ano ou 0,0001071429Gwh/m², ao se considerar essa geração temos que:

$$\frac{50Gwh/ano}{0,0001071429Gwh/m^2} = 466, 666,48m^2 \quad (1)$$

Foi observado que seria necessário 466, 666,48m² de área com painéis fotovoltaicos para a geração solar local igualar e substituir a da usina, isso daria o equivalente a 0, 466 km² ou 0,2% da área da cidade de Longyearbyen, além disso, não apresenta um elevado preço em relação aos outros métodos de geração.

A energia fotovoltaica (PV), gerada por meio de painéis solares, é geralmente considerada uma fonte de energia mais limpa e sustentável em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais. No entanto, assim como qualquer forma de produção de energia, ela não está completamente isenta de impactos ambientais. Os efeitos da energia fotovoltaica em animais e plantas, especialmente em regiões polares, podem ser multifacetados. Aqui estão alguns aspectos a serem considerados:

Disrupção de Habitat: A instalação e manutenção de painéis solares podem perturbar os habitats locais. Em regiões polares, onde os ecossistemas são particularmente frágeis e adaptados a condições específicas, qualquer perturbação pode ter um impacto significativo. Atividades de construção podem resultar em alterações na paisagem, afetando a flora e fauna locais.

Efeitos de Albedo: O efeito de albedo refere-se à refletividade de uma superfície. Neve e gelo têm alto albedo, o que significa que refletem uma quantidade significativa de luz solar. Quando os painéis solares são instalados em superfícies cobertas de neve, eles podem reduzir o efeito de albedo, pois os painéis absorvem a luz solar em vez de refleti-la. Isso pode contribuir para o aquecimento localizado e afetar espécies sensíveis à temperatura em regiões polares.

Uso de Produtos Químicos: O processo de fabricação de painéis solares envolve o uso de vários produtos químicos. Embora a indústria tenha feito esforços para reduzir o impacto ambiental desses processos, ainda pode haver problemas com a disposição dos subprodutos da fabricação. A disposição inadequada ou manuseio desses produtos químicos pode potencialmente prejudicar os ecossistemas locais.

Questões de Fim de Vida: Os painéis solares têm uma vida útil, e sua disposição pode ser uma preocupação ambiental. Se não forem gerenciados adequadamente, a disposição dos painéis solares pode resultar na liberação de materiais perigosos. Práticas adequadas de reciclagem e disposição são cruciais para minimizar esses impactos.

Distúrbio da Vida Selvagem: A presença de infraestrutura solar, incluindo painéis fotovoltaicos e equipamentos associados como transformadores e, pode perturbar a vida selvagem. Em regiões polares, onde a fauna está adaptada a ambientes relativamente inalterados, a introdução de estruturas humanas pode perturbar padrões normais de comportamento e rotas de migração devido à reflexão, aumento de temperatura nos locais de instalação dos painéis

Mitigação das Mudanças Climáticas: É importante considerar o contexto mais amplo. Enquanto a instalação e manutenção de painéis solares têm impactos ambientais, o uso de energia solar contribui para mitigar as mudanças climáticas. As próprias mudanças climáticas representam uma ameaça significativa para os ecossistemas polares devido ao aumento das temperaturas, mudanças nos padrões de gelo e alterações nos padrões de precipitação.

Esforços estão em andamento para abordar essas preocupações e desenvolver práticas mais amigáveis ao meio ambiente na indústria solar. É crucial equilibrar os benefícios da

energia renovável, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, com os potenciais impactos ambientais e trabalhar para minimizar os efeitos negativos na vida selvagem e nos ecossistemas.

5.1.1 SWOT da fonte fotovoltaica

Figura 12: Análise SWOT de energia fotovoltaica.



Fonte: próprio autor.

Os resultados revelam que, para alcançar a independência energética em Ny-Ålesund através da geração exclusiva de energia fotovoltaica, seriam necessários aproximadamente 466.666,48 metros quadrados de painéis solares. Esse cálculo foi obtido considerando a média de geração de energia solar na região, estimada em 107, 1428 kWh/m² por ano. A área requerida corresponde a cerca de 0, 466 quilômetros quadrados ou 0,2% da área total da cidade de Longyearbyen.

Esses resultados apontam para o potencial da energia fotovoltaica como uma alternativa viável para suprir as necessidades energéticas locais. Além disso, ressaltam a importância de considerar fontes de energia renováveis e sustentáveis em regiões com condições climáticas extremas, como os pólos, como uma maneira de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar os impactos ambientais associados à geração de energia. No entanto, é necessário um planejamento cuidadoso e contínuo para garantir a implementação eficaz e sustentável da energia fotovoltaica, levando em conta fatores como a variabilidade

sazonal na geração de energia e a necessidade de armazenamento de energia para garantir um suprimento estável ao longo do ano.

5.2 Energia a combustão

Além da geração convencional de energia na ilha ser predominantemente de carvão, também se observa o uso generalizado de pequenos geradores individuais, predominantemente alimentados por diesel e gasolina, devido à facilidade de obtenção de combustível, aos custos de equipamentos e à disponibilidade desses geradores. Se considerarmos que o preço médio do quilowatt-hora na região, em novembro de 2023, é de 2,07 Coroas Norueguesas, o equivalente a 0,94 centavos na taxa de câmbio atual, situando-se abaixo da média regional.

Essa realidade reflete não apenas a longa tradição da geração de energia por combustão no arquipélago, mas também as decisões práticas e econômicas da comunidade local diante das condições singulares da região. No entanto, é imperativo considerar os impactos ambientais associados à combustão, instigando discussões sobre a viabilidade e a necessidade de transições para fontes mais sustentáveis de energia em locais como Svalbard.

Quanto aos impactos da exploração de energia fóssil em ambientes polares, como o Ártico, os efeitos são notáveis e abrangentes. A queima de combustíveis fósseis contribui para o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, resultando em mudanças climáticas significativas. Essas alterações climáticas afetam diretamente os habitats de espécies adaptadas ao frio e com maior sensibilidade climática, como é o caso no Ártico.

Além disso, a poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis fósseis pode resultar na deposição de substâncias tóxicas no solo e na água, comprometendo a qualidade dos habitats terrestres e aquáticos. Essa contaminação tem efeitos adversos na vegetação local, influenciando a fisiologia das plantas, a composição da comunidade vegetal e a biomassa (TOMMERVIK et al., 2019).

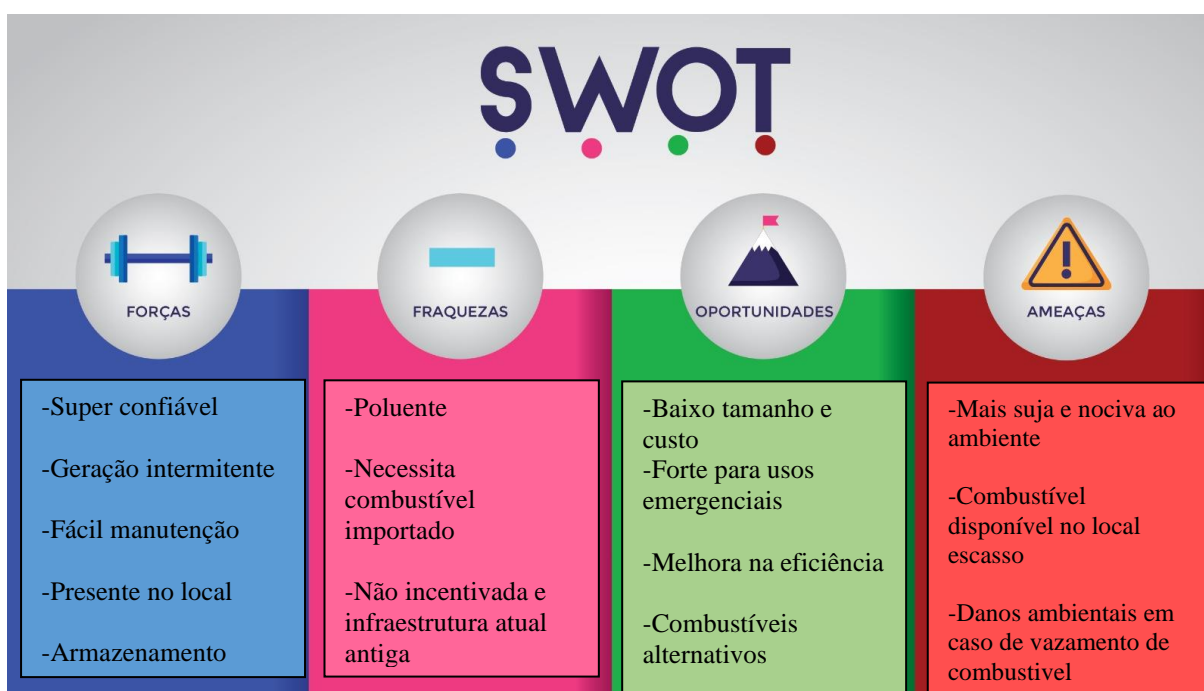
O derretimento do permafrost é outro impacto significativo, alterando a estabilidade do solo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Essas mudanças afetam a composição e a distribuição da vegetação (ELBERLING et al., 2013). Além disso, o aumento das temperaturas pode influenciar os padrões de crescimento e a fenologia das plantas, afetando a sincronia entre a flora e a fauna, o que, por sua vez, diminui a disponibilidade de alimentos e pode dificultar processos essenciais, como a polinização.

Em síntese, a vida útil de usinas termelétricas varia, geralmente situando-se entre 25 a

40 anos. No entanto, é necessário considerar fatores como manutenção, atualizações e avanços tecnológicos. No contexto polar, como em Svalbard, a dependência de energia por combustão tem implicações significativas, tanto na matriz energética local quanto nos ecossistemas sensíveis, destacando a importância de abordagens mais sustentáveis.

5.2.1 SWOT da energia de combustão

Figura 13: Análise SWOT de energia de combustão.



Fonte: próprio autor.

Os resultados mostram o uso predominante de pequenos geradores individuais alimentados por diesel e gasolina em regiões como Svalbard devido ao baixo valor tanto dos geradores quando do combustível relativo a outros métodos tal como a individualidade de geração. Isso reflete a tradição na geração de energia por combustão na região, mas também levanta questões sobre os impactos ambientais associados. A exploração de energia fóssil em ambientes polares, como o Ártico, contribui para mudanças climáticas significativas, afetando diretamente os habitats sensíveis da região. Além disso, a poluição atmosférica resultante da queima de combustíveis fósseis compromete a qualidade dos habitats terrestres e aquáticos, influenciando negativamente a vegetação local e o permafrost. Esses resultados destacam a necessidade de abordagens mais sustentáveis na matriz energética e a importância de considerar os impactos ambientais ao decidir sobre fontes de energia.

5.3 Energia Eólica

A região demonstra características favoráveis para o potencial desenvolvimento de energia eólica, com solo estável e rochoso, além de ser um local com alta circulação de correntes de ar. Os eventos atmosféricos que poderiam representar riscos para os geradores são raros e extremos. No entanto, esses eventos têm o potencial de ameaçar tanto as turbinas instaladas (devido a ventos de alta velocidade) quanto à estabilidade do fornecimento de energia durante longos períodos com ventos fracos, sendo importante notar que essa variação não demonstra mudanças significativas ao longo dos anos, permitindo previsões e planejamento para superação, caso necessário.

Também para o problema de armazenamento de energia em baterias a tecnologia de íon de lítio (Li-ion) é adequada para suavizar as variações na produção de energia que ocorrem de segundos a horas. Ela apresenta um desempenho previsível ao longo de um grande número de ciclos de carga e descarga, e possui uma vida técnica superior a 10 anos. Além disso, a alta densidade de energia da bateria combinada com seu baixo peso resulta em um pacote relativamente pequeno e leve, proporcionando aproximadamente 1 MWh de energia em um único contêiner de seis metros, com uma capacidade de potência de até 2 MW.

Os contêineres podem ser enviados totalmente montados e testados em fábrica, minimizando assim o trabalho que precisa ser realizado no local, o que é um dos desafios na região do Ártico (NYMANN et al. 2018).

A região de Svalbard possui ventos consistentes ao longo do ano, permitindo a instalação estratégica de turbinas eólicas para geração de eletricidade sustentável. A energia eólica apresenta uma pegada ambiental reduzida em comparação com os combustíveis fósseis, sendo especialmente relevante em regiões ecologicamente sensíveis como Svalbard.

Os dados indicam uma média de 7 m/s de velocidade do vento durante o inverno e verão, com valores mais baixos em agosto, favorecendo o desenvolvimento da energia eólica na região. Para lidar com as variações na produção de energia, a tecnologia de íon de lítio em baterias é uma solução adequada, oferecendo desempenho previsível ao longo do tempo.

As turbinas eólicas geralmente têm uma vida útil de 20-25 anos, sendo descomissionadas quando atingem o fim de sua vida operacional. O processo de descomissionamento envolve a reciclagem de componentes, com alguns materiais representando desafios para a reciclagem, mas a prática é crucial para a sustentabilidade ambiental.

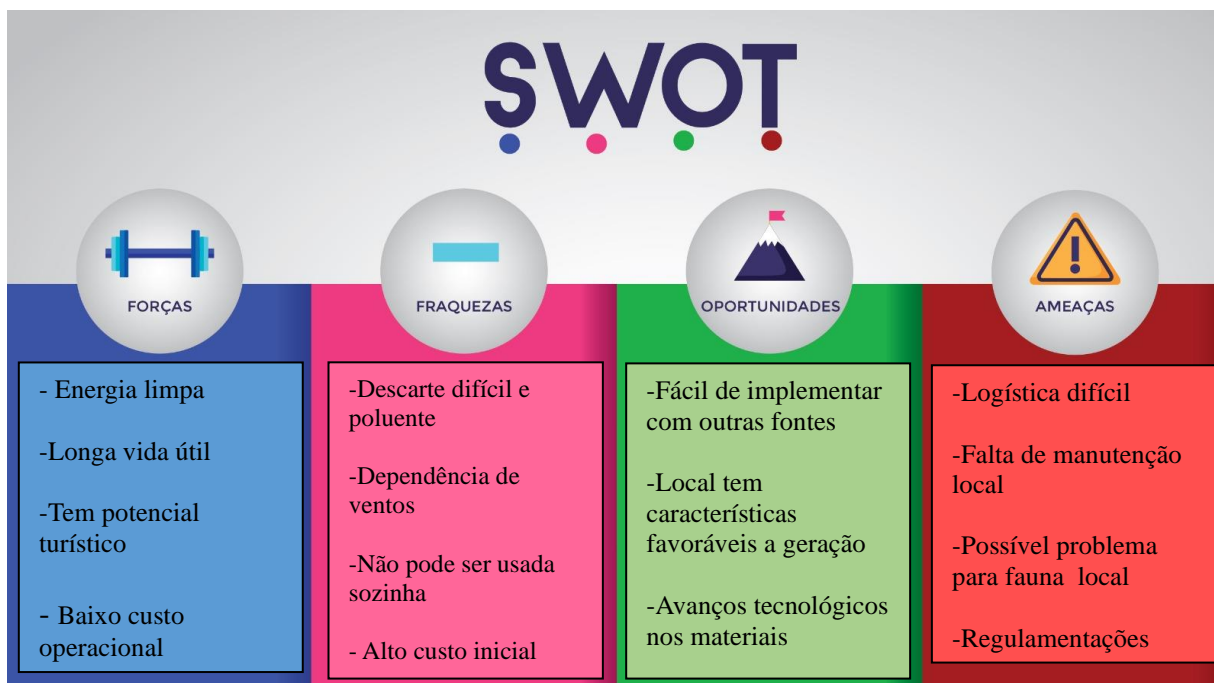
Para a sustentabilidade ambiental, a reciclagem de componentes de turbinas eólicas,

incluindo materiais como aço e cobre, é crucial. As pás, frequentemente feitas de materiais compostos, representam um desafio para a reciclagem, motivando pesquisas contínuas sobre métodos eficazes e ecologicamente corretos para reciclar ou reaproveitar esses materiais.

Em alguns casos, em vez de descomissionamento, parques eólicos optam por repotencialização. A repotencialização envolve a substituição de turbinas mais antigas por modelos mais eficientes, aproveitando a infraestrutura existente, como torres e fundações.

5.3.1 SWOT da fonte eólica

Figura 14: Análise SWOT de energia eólica.



Fonte: próprio autor.

Em termos gerais, a energia eólica emerge como uma opção viável para o arquipélago. Contudo, questões logísticas associadas à instalação e desmontagem suscitam preocupações significativas, dada a notório isolamento geográfico da região. Não obstante, a energia eólica apresenta-se como uma forma de geração eficaz, embora sua adoção exclusiva ou dependência exacerbada deva ser evitada, dadas as características inerentes à sua fonte primária, o vento. Neste contexto, a energia eólica configura-se como uma opção de grande potencial, assumindo um papel destacado como complemento à matriz de geração total de energia.

5.4 Energias Híbridas

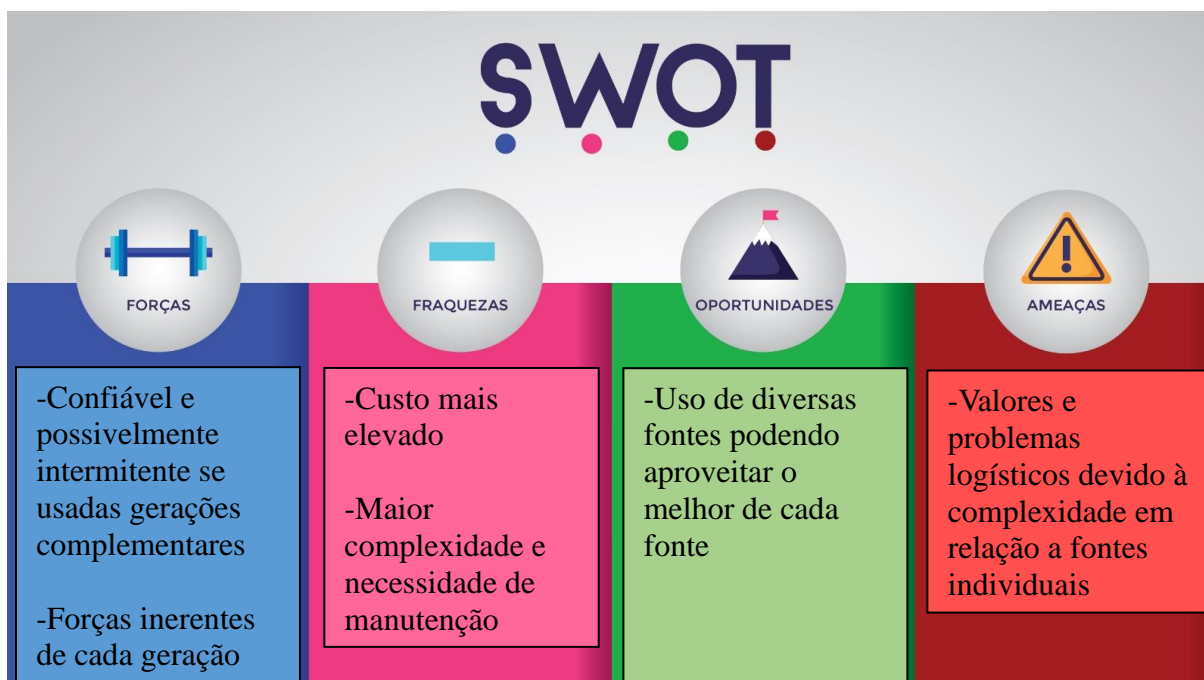
Ao integrar múltiplas fontes dentro de um sistema híbrido, esses desafios podem ser efetivamente superados. Durante as horas prolongadas de luz solar, os painéis solares podem capturar a luz do sol, complementados por turbinas eólicas que captam os ventos árticos intermitentes, mas confiáveis. A inclusão de uma fonte de energia de backup, como geradores a diesel ou um sistema de armazenamento de energia, garante um fornecimento de energia consistente durante períodos de baixa produção de energia renovável.

Uma vantagem notável dos sistemas híbridos está na capacidade de aprimorar a confiabilidade energética. No Ártico, onde as condições climáticas extremas e as variações sazonais impactam as fontes de energia renovável, a diversificação proporcionada pelos sistemas híbridos garante uma produção de energia mais estável ao longo do ano. As tecnologias de armazenamento de energia desempenham um papel crucial ao capturar energia excedente durante os picos de geração e liberá-la quando a demanda é alta ou quando as condições climáticas são desfavoráveis para a produção de energia renovável(GROCHOWICZ, et al 2021.)

Além disso, a adaptabilidade dos sistemas de energia híbrida os torna adequados para locais isolados. Eles podem ser adaptados às necessidades específicas e à disponibilidade de recursos da região, oferecendo uma solução de energia flexível e sustentável. Ao combinar diversas fontes e incorporar armazenamento de energia, os sistemas híbridos contribuem para uma infraestrutura de energia mais resiliente e autossuficiente, especialmente em ambientes desafiadores como Svalbard. Em resumo, a integração de fontes de energia diversas em um sistema híbrido não apenas aborda as limitações de métodos individuais, mas também abre caminho para um futuro de energia mais confiável e sustentável em áreas remotas.

5.4.1 SWOT da fonte híbrida

Figura 15: Análise SWOT de energias híbridas.



Fonte: próprio autor.

Como resultado da pesquisa de energia híbrida foi visto como uma solução promissora para os desafios energéticos em áreas remotas e isoladas. Esses sistemas integrativos unem fontes de energia renovável, como solar e eólica, com fontes tradicionais, o que resulta em uma melhoria da eficiência energética e uma redução das emissões de carbono. Adicionalmente, a diversificação das fontes de energia por meio de sistemas híbridos contribui para o aumento da confiabilidade no fornecimento de energia, minimizando interrupções causadas por condições climáticas adversas.

A capacidade de adaptação dos sistemas híbridos permite ajustes de acordo com as características específicas de cada região, oferecendo uma solução flexível para atender às necessidades locais de energia. A incorporação de tecnologias de armazenamento de energia também colabora para a resiliência da infraestrutura energética em áreas remotas, possibilitando o armazenamento de energia excedente para utilização durante períodos de alta demanda ou baixa produção de energia renovável.

6 CONCLUSÃO

Neste estudo, exploramos a viabilidade de diversas fontes de energia em Svalbard, uma região remota marcada por condições climáticas extremas. A análise abrangente revela que a dependência atual de carvão e diesel para a geração de energia resulta em emissões significativas, destacando a necessidade urgente de explorar alternativas sustentáveis. A introdução de energias renováveis e soluções híbridas emergem como uma resposta crucial diante dos desafios ambientais e das pressões globais por práticas mais sustentáveis.

Os resultados indicam que, apesar dos obstáculos apresentados pelas condições extremas, as tecnologias de energia renovável, como a solar e eólica, demonstram potencial viável para complementar e, em alguns casos, substituir as fontes tradicionais. O ciclo de vida dessas alternativas foi avaliado, considerando não apenas a eficiência energética, mas também a redução das emissões e os impactos ambientais locais.

A implementação de energia híbrida em Svalbard pode combinar energia fotovoltaica e eólica para aproveitar as características sazonais locais. De fevereiro a outubro, com pico em maio, a energia solar fotovoltaica pode suprir a maior parte da demanda devido à longa duração da luz do dia. A energia eólica, embora mais eficaz no inverno, pode ser usada durante todo o ano, complementando a solar. Para garantir um fornecimento contínuo, um sistema de backup baseado em energia de combustão será utilizado durante períodos de baixa produção solar e eólica, assegurando uma rede elétrica estável e eficiente em Svalbard.

Ao considerar o contexto único de Svalbard, a transição para fontes de energia mais sustentáveis não apenas alinha-se com as preocupações globais sobre mudanças climáticas, mas também aborda os desafios locais, como a preservação da fauna e flora. Desta forma propõe-se que futuras iniciativas de pesquisa e políticas públicas na região considerem ativamente a implementação gradual de fontes de energia mais limpas, fomentando a resiliência ambiental e a auto-suficiência energética em Svalbard. Este estudo contribui, assim, para o entendimento mais amplo da viabilidade de usos de energia em ambientes extremos, oferecendo uma base sólida para abordagens mais sustentáveis na geração de energia em regiões remotas e desafiadoras.

REFERÊNCIAS

BRITANNICA, **Svalbard**. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Willem-Barents>. Acesso em: 12 fev. 2024.

GEODATA, **Norwegian Polar Institute Map Data and Services**. Disponível em: <https://geodata.npolar.no/#thematic-map-services>. Acesso em: 20 abr. 2024.

GROCHOWICZ, A.; HEINEKEN, D.; WENNBERG, S. **The reliability of wind power in the Longyearbyen area**. University of Oslo. Oslo, v. 1, n. 1, p. 1-11, dez. 2005.

HANSEN-BAUER, I.; SOLÅS, M. K.; STEFFENSEN, E. L. **Climate variations and implications for precipitation types in the Norwegian arctic**. Norwegian Meteorological Institute. Oslo. v. 1, n. 1, p. 1-21, jan/2003

HARLAND, W. B.; REYNOLDS, A. **Cambridge Svalbard Expedition, 1973**. Polar Record, v. 17, n. 106, p. 1-44, 1974.

HISDAL, V. **Svalbard: nature and history**. Oslo: Norsk Polar Institut, 12 ed. p. 1-123. 1998.

HJELLE, A. **Geology of Svalbard**. Oslo: Norsk Polar Institut , 7 ed, p. 1-162, 1993.

INGOLFSSON, O. **Outline of the geography and geology of Svalbard**. University of Iceland UNIS. Oslo v. 1, n. 1, p. 1-11 , 2004.

JSTOR. **The “High Arctic maritime snow climate” in central Svalbard**. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41240395>. Acesso em: 03 de mar. 2024.

KOTTEK, M et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, **Offenbach**, v. 15, n. 3, p. 259-263, jun/2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51997463_World_Map_of_the_Koppen-Geiger_Climate_Classification_Updated. Acesso em: 13 set. 2023

LEE, Y. K. **Arctic plants in Svalbard**. Springer International Publishing, p. 39-83, 2020.

LEIGH, D. **SWOT analysis: Handbook of Improving Performance in the Workplace**. v. 1, n. 1, p. 115-140, 2010.

MIDTTØMME, K. et al. Is geothermal energy an alternative for Svalbard?. **In the Third Sustainable Earth Sciences Conference and Exhibition**. p. 1-5. Celle, oct, 2015.

MUSEET, T. **The first coal wagon in 1918**. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/27/Sveagruvan_%287975494705%29.jpg. Acesso em: 12 mar. 2024.

NYMANN, J. R.; HOMANN, M.; HANNERVOLD, V. **Energy in the West Nordics and the Arctic case studies**. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2018. Disponível em: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1250869/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023.

RINGKJØB, H. K. Transitioning remote Arctic settlement to renewable energy systems: A modeling study of Longyearbyen, Svalbard. **Applied Energy**, Bergen, v. 258, n. 1, p. 1-13, nov, 2019.

ROSS, S. **Thick-billed Murre**. fotografia, color. Formato JPEG. Disponível em: <https://macaulaylibrary.org/asset/29499121>. Acesso em: 08 jan. 2024.

ROSSI, C. R. A unique international problem: The Svalbard Treaty, equal enjoyment, and terra nullius: Lessons of territorial temptation from history, Washington, Wash U. **Global Stud. L. Rev**, v. 15,n. 1, p. 93, jan/2016.

SAIDUR, R. et al. Environmental impact of wind energy. Kuala Lumpur, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 5, p. 2423-2430, jun, 2011.

SSB, A população de Svalbard. Disponível em: <https://www.ssb.no/befolkning/folketall/statistikk/befolkningen-pa-svalbard>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SOLBAKKEN, K.; BABAR, B.; BOSTRÖM, T. Correlation of wind and solar power in high-latitude arctic areas in Northern Norway and Svalbard. Tromso, **Renewable Energy and Environmental Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 42, set. 2016.

SÖRLIN, S. **Resource extraction and Arctic communities: The new extractivism paradigm**. 1st ed, Cambridge . Cambridge University Press, p. 1-79, 2022.

SPITSBERGEN. **The Seabirds in the Barents Sea Geir Wing Gabrielsen**. Disponível em: <https://www.spitsbergen-svalbard.com/spitsbergen-information/wildlife.html>. Acesso em: 08 jan. 2024.

STORK. A. **Dutch whalers near Spitsbergen**. original de arte, óleo sobre tela , 47,3 x 63,2 . Coleção do Museu Scheepvaartmuseum, 1690.

STORENORSKELEKSIKON. **Svalbardtrakaten**. Disponível em: <https://snl.no/Svalbardtrakaten>. Acesso em: 26 set. 2023.

SWISSEDOC. **Northern Svalbard aerial photos**. Disponível em: https://www.swisseduc.ch/glaciers/svalbard/north_svalbard_aerial/index-en.html. Acesso em: 12 mar. 2024.

UNESCO. **Svalbard Archipelago**. Disponível em: <https://whc.unesco.org/en/tentativelists/5161/>. Acesso em: 14 mar. 2024.

WEATHER AND CLIMATE. **Average Monthly Sunshine hours in Longyearbyen**. Disponível em: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-hours-Sunshine,longyearbyen-svalbard-no,Norway>. Acesso em: 23 fev. 2024.

WILEY. **Climate change impacts on wildlife in a High Arctic archipelago–Svalbard, Norway**. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13381>. Acesso em: 21 de fev. 2024.