



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BALSAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LUCIANA PEREIRA BARBOSA

**ESTUDO DO CONCEITO *NET ZERO ENERGY* PARA IMPLANTAÇÃO DE
FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E APLICAÇÃO EM UMA GRANJA DE
SUINOS EM BALSAS-MA**

Balsas-MA
2021

LUCIANA PEREIRA BARBOSA

ESTUDO DO CONCEITO *NET ZERO ENERGY* PARA IMPLANTAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E APLICAÇÃO EM UMA GRANJA DE SUINOS EM BALSAS-MA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof.^o Dr. Pedro Bezerra Leite Neto

Balsas-MA
2021

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Barbosa, Luciana Pereira.

ESTUDO DO CONCEITO NET ZERO ENERGY PARA IMPLANTAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E APLICAÇÃO EM UMA GRANJA DE SUINOS EM BALSAS-MA / Luciana Pereira Barbosa. - 2021.

68 p.

Orientador(a): Pedro Bezerra Leite Neto.

Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Maranhão, Balsas/MA, 2021.

1. Eficiência. 2. Energia. 3. Energia renovável. 4. Energia Solar. 5. Net Zero Energy. I. Leite Neto, Pedro Bezerra. II. Título.

LUCIANA PEREIRA BARBOSA

ESTUDO DO CONCEITO *NET ZERO ENERGY* PARA IMPLANTAÇÃO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E APLICAÇÃO EM UMA GRANJA DE SUINOS EM BALSAS-MA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão Campus Balsas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 17 de setembro de 2021.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Pedro Bezerra Leite Neto, Universidade Federal do Maranhão.

Prof. Dr. Aderlânio da Silva Cardoso, Universidade Federal do Maranhão.

Prof. Dr. Raimundo Nonato Diniz Costa Filho, Universidade Federal do Maranhão.

Para aquele que tem meu coração.

Agradecimentos

Primeiramente ao Deus da minha salvação, socorro bem presente nos dias de angústia, amigo fiel, que esteve comigo em todo tempo me auxiliando e confortando.

Gratidão a minha família, em especial, a meus pais, Pedro e Maria Félix, por todo o amor, compreensão e por terem me ensinado os valores da vida.

Aos meus amigos, colegas de curso e professores.

Muita gratidão ao meu orientador, Pedro, pelo apoio e paciência.

Agradeço também ao senhor Antonius, que nos apoiou e cedeu os dados para a elaboração deste estudo.

Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.

Nikola Tesla

Resumo

Os ambientes construídos são grandes consumidores de energia e recursos naturais do planeta. Desta forma o conceito *Net Zero Energy* (NZE) ou *Net Zero Energy Building* (NZEBS) tem sido trabalhado e implantado em alguns países, visando o aumento do consumo de energia por fontes renováveis e redução dos impactos ambientais produzidos pelo setor de edificações e setor civil. O conceito é aplicado a ambientes autossuficientes em energia, englobando fases como ciclo de vida do empreendimento, extração de matéria prima e tempo de sua vida útil, sendo necessária a combinação de elevado desempenho energético e geração de energia renovável. Para a aplicação deste conceito é necessária uma melhoria das técnicas construtivas e uma análise do balanço em um período de um ano do consumo e demanda de energia. As certificações apresentam um papel importante dentro deste conceito, aumentando a valorização dos ambientes, contribuindo para o alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Nos dias atuais é visível o crescimento de locais que buscam autonomia e autossuficiência na produção de energia. Este trabalho traz o estado atual do conceito NZE, analisa a implantação de sistemas fotovoltaicos como fonte de energia, através de um estudo de caso em uma granja de suínos na cidade de Balsas/MA, fazendo um comparativo da viabilidade técnica e econômica destes sistemas comparados a um sistema usando biodigestor. E em seguida é examinando os benefícios e barreiras na implantação do conceito NZE e dos sistemas em questão. Para esta análise foram feitas pesquisas de potencial solarimétrico para o município, realizando o dimensionamento do sistema fotovoltaico e projeções econômicas para ambos os sistemas.

Palavras-chave: Energia; Energia Solar; *Net Zero Energy*; Energia renovável; Eficiência.

Abstract

Built environments are major consumers of energy and natural resources on the planet. Thus, the Net Zero Energy (NZE) or Net Zero Energy Building (NZEBS) concept has been adopted in some countries, aiming to increase energy consumption from renewable sources and to reduce the environmental impacts produced by the buildings and civil sectors. The concept is applied to energy self-sufficient environments, encompassing phases such as the enterprise's life cycle, raw material extraction, and time of its useful life. The combination of high energy performance and renewable energy generation is necessary. To apply this concept, it is necessary to improve construction techniques and analyze the balance of energy consumption and demand over one year. Certifications play an important role within this concept, increasing the value of environments, which contributes to achieve the goals of sustainable development. Nowadays, the growth of places that seek autonomy and self-sufficiency in energy production is visible. This work brings the current status of the NZE concept and analyzes the implementation of photovoltaic systems as an energy source, through a case study in a swine farm in Balsas/ MA. A technical and economic feasibility study was performed between the photovoltaic and a biodigester system. It is examined the benefits and barriers in implementing the NZE concept in these systems. For this analysis, solarimetric potential surveys were carried out for the municipality, performing the sizing of the photovoltaic system and economic projections for both systems.

Keywords: Energy; Solar energy; Net Zero Energy; Renewable energy; Efficiency.

Listas de Figuras

Figura 1: Balanço de energia entre consumo e produção de um NZEB	21
Figura 2: Princípios e recursos comuns aos NZEBs.	21
Figura 3: Ciclos naturais em uma habitação bioclimática.....	24
Figura 4: Hierarquia estratégica para a concepção de um NZEB.	27
Figura 5: Estratégia de iluminação natural.	29
Figura 6: Orientação das portas e janelas favorecendo a ventilação natural.	30
Figura 7: Edifício de referência para uma expansão do aeroporto de Málaga, Espanha.	30
Figura 8: Sistema de ventilação mecânico.	32
Figura 9: Opções em ordem prioritária de geração de energia de um NZEB.....	35
Figura 10: Requisitos para pontuação dos certificados LEED.	38
Figura 11: Selos de certificação LEED.....	38
Figura 12: Aspectos monitorados para obtenção do Selo Zero Energy da GBC-Brasil.	39
Figura 13: Edifício Solar XXI, Portugal.....	41
Figura 14: Edifício SunnyWatt, Suíça.....	42
Figura 15: Vila Beddington Zero Energy Development.	43
Figura 16: Painéis solares no Sebrae de sustentabilidade.....	44
Figura 17: Edifício principal do Sebrae.....	44
Figura 18: Localização do município de Balsas/MA	46
Figura 19: Vista superior da Agromina.....	46
Figura 20: Valores de irradiação solar média ao longo do ano em Balsas/MA.	50
Figura 21: Maiores níveis de Irradiação Média anual no Maranhão.....	51
Figura 22: Níveis de Irradiação média em Balsas/MA.....	52
Figura 23:Análise gráfica do investimento x Tempo.....	55

Lista de Tabelas

Tabela 1: Definições NZE.	20
Tabela 2: Principais Diretivas Europeias que impulsionaram as edificações NZEBs.	22
Tabela 3: Legislação de eficiência energética brasileira.	24
Tabela 4: Produção de biogás.....	37
Tabela 5: Empreendimentos com Certificados NZE no Brasil.....	40
Tabela 6: Produção De Biogás.....	47
Tabela 7: Geração de Energia em kWh (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).	48
Tabela 8: Custos Detalhados para Manutenção e Operação do Biodigestor (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).....	48
Tabela 9: Investimento e o valor dos juros (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).	48
Tabela 10: Indicadores econômicos obtidos (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).	49
Tabela 11: Características do sistema fotovoltaico dimensionado.	53
Tabela 12: Indicadores econômicos do sistema fotovoltaico dimensionado.	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Enquadramento e motivação	13
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 Conceito de <i>Net Zero Energy</i>	19
3.2 Aspectos Legais	22
3.3 <i>Net Zero Energy</i> : Desafios e situação atual	25
4. REQUISITOS PARA UM EMPREENDIMENTO NET ZERO ENERGY	27
4.1 Métodos passivos.....	28
4.1.1 Luz natural	29
4.1.2 Ventilação natural	29
4.1.3 Vegetação e sombreamento	30
4.1.4 Isolamento térmico.....	31
4.2 Métodos ativos	31
4.2.1 Ventilação mecânica.....	31
4.2.2 Luz artificial	32
4.2.3 Uso eficiente de água e escolha de materiais construtivos	33
4.2.4 Tecnologias de geração de energia renovável	33
4.3 Certificações	37
4.3.1 Certificação LEED	37
4.3.2 <i>Green Building Council</i> Brasil – GBC Brasil	39
4.4 Exemplos de empreendimentos <i>Net Zero Energy</i>	41
4.4.1 Solar XXI.....	41

4.4.2 Edifício <i>SunnyWatt</i>	42
4.4.3 <i>Beddington Zero Energy Development (BedZED)</i>	42
4.4.5 Centro Sebrae de Sustentabilidade	43
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
5.1 Estudo de Caso.....	45
5.2 Definições Preliminares	45
5.3 Estudo de Viabilidade para implantação de biodigestor.....	47
5.4 Estudos de Viabilidade para implantação de painéis fotovoltaicos	49
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
6.1 Dimensionamento do Sistema Solar Fotovoltaico	53
6.2 Estudo comparativo do biodigestor e sistema fotovoltaico.....	54
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS.....	60
ANEXOS	66
Anexo I – Histórico das análises econômicas.....	66
Anexo II-Tabela de parcelamento baseada no financiamento.....	67

1. INTRODUÇÃO

A busca por conforto sempre esteve no pódio dos objetivos da humanidade. Em razão disto, desde as grandes revoluções o desenvolvimento da ciência e de novas tecnologias tem buscado suprir os desejos e demandas das sociedades. Resultando na melhoria econômica, transformação cultural, mudanças nos padrões de consumo e crescimento populacional, o que intensificou o desgaste dos recursos naturais do planeta.

O consumo de energia é uma realidade em todo mundo, no entanto a intensificação deste consumo juntamente com outros recursos naturais ameaça a disponibilidade e oferta de forma ampla e segura. Os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis e conseqüentemente sua escassez, tem incitado a humanidade a buscar novos métodos, tecnologias e novas fontes de energia. O setor da construção civil, como um dos maiores poluidores e consumidores de recursos naturais, vem buscando se adequar aos acordos ambientais e do clima, já que a perspectiva mostra o aumento de novas residências.

Recentemente, o conceito de edifícios com energia líquida zero (NZEBS) faz-se uma solução capaz de melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia em edifícios (FENG *et al.*, 2019). Para alcançar a meta de um NZEB, os sistemas de construção e as estratégias de projeto devem ser conectados e otimizados com base nas condições climáticas locais. Diante dessa necessidade, o conceito ainda não se encontra totalmente definido, existindo pelo menos quatro tipos, que são formulados a partir de características específicas de cada sistema (FENG *et al.*, 2019).

A autoprodução de energia tem evoluído fortemente nas últimas décadas, principalmente com a integração de sistemas fotovoltaicos a ambientes construídos. Os sistemas fotovoltaicos, apesar de haver vários outros entre as fontes de energias renováveis, são os mais adequados para serem utilizados nas envoltórias das edificações (DIDONÉ; WAGNER; PEREIRA, 2014). Dito isso, é visível que o conceito NZE é uma alternativa para a mudança no setor da construção, contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais e elevando o consumo de energia por fontes de energia renováveis.

1.1 Enquadramento e motivação

O fornecimento de energia está em constante debate, sendo que o abastecimento de forma eficiente e com qualidade tem sido um desafio desde sua descoberta (GOLDEMBERG,1998). As pesquisas voltadas para a segurança energética estão em constante desenvolvimento, tanto pelo panorama atual dos recursos fósseis como pela necessidade de aumentar a disponibilidade e diversidade energética através de fontes renováveis limpas.

Apesar de que muitos especialistas tenham formulado conceitos de segurança energética, ainda não há um consenso na definição (COUTINHO *et al.*, 2020). No entanto, autores como Cherp e Jewell (2014) usaram em sua pesquisa a definição que segurança energética pode ser vista como a garantia da disponibilidade física de fontes de energia a baixo custo.

Sabe-se que o aumento da demanda energética mundial exige uma mudança tanto nas fontes como nos padrões de consumo, bem como uso de matérias-primas e materiais de baixo impacto ambiental. Durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 21) em dezembro de 2015, foi firmado o Acordo de Paris, no qual 196 países se comprometeram a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a tornar mais limpa tanto a oferta quanto o uso de energia elétrica.

As mudanças climáticas resultam das grandes taxas de emissões de gases de efeito estufa, com isso estes países têm proposto medidas com o objetivo de reduzir essas taxas. A União Europeia é uma das organizações que mais tem influenciado o avanço das energias renováveis e o desenvolvimento sustentável. Este fato pode ser verificado através do compromisso que esta organização tem em seguir rigorosamente as premissas definidas no protocolo de Quioto e Acordo de Paris (MENDES, 2018).

E ainda sim, Hoxha e Jusselme (2017) relatam em sua pesquisa que os ambientes construídos na União europeia (UE) são responsáveis por 36 % das emissões de GEE e 40% do consumo de energia. Os Estados Unidos são responsáveis por 7,4% das emissões de CO₂ globais, e os edifícios consomem 40% da energia primária do país, respondendo também por cerca de 40% das emissões de CO₂ (WU; SKYE, 2021).

No Brasil, Nascimento (2021) diz que o setor de edificações consome cerca de 36% da energia primária e ainda é responsável por 39% das emissões de CO₂. E ainda, segundo a projeção do Plano Decenal de Expansão de Energia para 2027 (PDE, 2027) o aumento de emissões de dióxido de carbono será de aproximadamente 2,58% ao ano (EPE, 2019). Em relação ao compromisso brasileiro de redução das emissões de gases de efeito estufa, em setembro de 2016, o país se comprometeu a reduzir 37% das emissões até 2025, em relação às emissões de 2005 (BRASIL, 2016, p.1).

Em um contexto global as construções existentes foram responsáveis por 28% de CO₂, emitidos de forma direta ou indiretamente em 2018 (WILLS, 2021) e são responsáveis por em média 30% do consumo final de energia (MAVRIGIANNAKI *et al.*, 2021). A eficiência energética das edificações depende de várias características, como o uso da ventilação natural, tecnologias eficientes de aquecimento e arrefecimento, clima, dentre outras. Essa associação feita de forma eficiente poderá diminuir os custos de energia associados e aumentar o conforto dos ambientes (ISOLAI *et al.*, 2008).

Entende-se, portanto, que o setor civil e de edificações são os maiores consumidores de energia e recursos naturais, além de serem grandes emissores de gases de efeito estufa (GEE). Logo, dentre os vários setores conhecidos, o setor de edificações possui um papel importante na aplicação dos objetivos de eficiência energética (FENG *et al.*, 2019).

O uso de energia durante a vida útil dos edifícios é em sua maior parte para alimentar sistemas de ventilação, aquecimento, ar-condicionado e outros eletrônicos, por esta razão há uma necessidade de escolher aqueles equipamentos que consomem menos energia. Por estes motivos o mercado de energia tem evoluído rapidamente com o objetivo de harmonizar oferta e demanda, trabalhando formas em todos os setores que possam contribuir para maior sustentabilidade no uso dos recursos e fornecimento de eletricidade.

Hoje no Brasil, a fonte usada para a suprir as demandas de energia elétrica ainda é de predominância hídrica e centralizada. No entanto tem surgido junto com a implantação de novas fontes, novos modelos de distribuição, como é o caso da geração distribuída (GD) usando energia solar fotovoltaica (LUNA *et al.*, 2019).

De acordo com a *Renewable Energy Policy Network* (REN 21) o uso da tecnologia solar fotovoltaica tanto em geração centralizada (GC) como na geração distribuída (GD) está crescendo rapidamente, sendo uma fonte bastante flexível para aplicação. Este fato favorece positivamente a inserção e uso desta fonte de energia renovável na rede ou de forma isolada.

A geração de energia centralizada exige que haja grandes extensões de rede para que a eletricidade chegue até o consumidor, gerando perdas, instabilidade e encarecendo o fornecimento. Shandiz et al. (2021) diz que há perdas de energia significativas devido a conversões de energia e transmissão de longas distâncias, bem como altos riscos de interrupção devido a interdependências complexas nesse transporte. Segundo a ANEEL (2020) as perdas de energia se referem ao quantitativo de eletricidade que foi produzido, mas que não chegou a ser comercializada, seja por questões técnicas ou comerciais. Sendo que em 2019 as perdas totais chegaram a 14% da eletricidade consumida no país.

Por outro lado, a geração distribuída aproxima a fonte de energia ao local de consumo, trazendo maior estabilidade, segurança, diminuindo as perdas e custos no fornecimento de energia. Uma fonte empregando o modelo de distribuição GD pode ser uma fonte de geração de energia conectada diretamente a rede de distribuição, independentemente da capacidade de geração, sendo uma boa opção para empreendimentos que buscam autonomia e autossuficiência na geração de eletricidade.

Atualmente, é perceptível que houve um grande aumento no número de estabelecimentos que se estruturam para conseguirem gerar sua própria energia. Diante deste cenário, o conceito *Net Zero Energy* tem sido alvo de várias pesquisas e aplicações como uma forma de trabalhar eficiência energética, implantação de fontes renováveis e sustentabilidade na construção.

Net Zero Energy (NZE) ou *Net Zero Energy Building* (NZEB) são conceitos aplicados a ambientes autossuficientes, englobando todo o ciclo de vida do empreendimento, desde a extração de matéria prima até o fim de sua vida útil. A aplicação de técnicas e tecnologias relacionadas ao conceito NZE, envolve não somente energia, mas está intrinsecamente ligado ao clima, técnicas de construção e equipamentos.

No que tange ao uso de energia, o termo busca em sua gênese que, ao fim de um período o balanço do consumo de energia seja zero ou quase zero, e que essa energia seja preferivelmente derivada de uma fonte renovável (KHALID; REDWAN, 2020).

O presente trabalho encontra-se dividido em 6 seções. Na primeira temos a introdução, é explicado o enquadramento do tema, os principais objetivos respondidos ao longo dos próximos capítulos e a organização do documento.

Na segunda, tem-se o estado da arte, apresentação dos conceitos, as principais legislações impostas aos edifícios NZEBs, e situação atual. Na terceira seção, são justificadas algumas escolhas necessárias para os atendimentos dos requisitos NZEBs e são apontadas algumas soluções construtivas e técnicas importantes para a classificação dos empreendimentos com este conceito, as certificações existentes e exemplos de estabelecimentos já certificados.

Na quarta seção é efetuado o estudo de caso, onde este conceito é apresentado como uma alternativa, aplicando o uso de painéis fotovoltaicos em substituição ao uso de um biodigestor. Nesta mesma seção é feita uma análise técnica e econômica das duas alternativas, avaliando a que melhor se adequa ao empreendimento e localização estudados.

Na quinta seção é apresentado e discutidos as principais os pontos limitantes e as vantagens dos sistemas estudado. E por fim, na sexta seção, são expostas as principais conclusões do trabalho, quanto ao cumprimento dos objetivos e pertinência para a mitigação dos impactos ambientais gerado pelo setor civil e energético.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Levantamento do estado da arte sobre o conceito *Net Zero Energy* para a implantação de fontes de energia renovável e avaliar a viabilidade técnica e econômica de implantação em uma suinocultura localizada no município de Balsas.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar técnicas e tecnologias para a aplicação do conceito *Net Zero Energy Building* (NZEB);
- Avaliar de que maneira o conceito de *Net Zero Energy Building* vem sendo desenvolvido e aplicado, tanto no contexto mundial quanto no contexto brasileiro;
- Analisar os benefícios do uso da biomassa e tecnologia fotovoltaica para uma suinocultura localizada no município de Balsas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados os conceitos de *Net Zero Energy* existentes, fundamentos legais e ordem cronológica destes marcos que impulsionaram os estudos sobre o tema, e por fim o estado atual das aplicações deste conceito.

3.1 Conceito de *Net Zero Energy*

O conceito de autossuficiência e autonomia de energia nas construções é conhecida há décadas, principalmente nos casos em que as instalações não podem ser conectadas a redes de energia (FENG *et al.*, 2019). Um exemplo disso são os satélites movidos a energia solar no espaço ou construção em áreas remotas. Na literatura, o termo “energia zero” não é recente, pois pesquisadores na Dinamarca sugeriram o termo “casa de energia zero” em 1976 pela primeira vez, quando pesquisaram sobre energia solar para aquecimento de edifícios durante os invernos (TORBEN, 1977).

No entanto Veiga (2015) aborda em sua pesquisa que o conceito *Net Zero Energy* foi apresentado de forma vaga e ainda defende que não há harmonização entre os conceitos existentes, e nem consenso baseados em análises científicas. Sartori *et al.* (2012) diz que a aplicação deste conceito busca trabalhar estratégias para “edifícios eficientes a nível energético e quase neutros a nível climático”. Sendo assim, conclui-se inicialmente e de maneira abrangente que, o termo NZE trabalha os conceitos de autossuficiência e autonomia energética envolvendo a arquitetura inteligente dos empreendimentos, casas e edifícios.

O conceito traduzido remete ao valor excedente ou que falta de energia após o balanço, ou seja, enfatiza o balanço realizado entre oferta e demanda de energia em um determinado ambiente, realizado num período de um ano. Diante disso, temos que NZE ou energia zero líquida é um sistema onde a energia requerida é igual à quantidade produzida no local.

Um outro termo usado pela literatura é *Net Zero Energy Building* (NZEB), que é utilizado para se referir a um edifício ligado a uma infraestrutura energética” (VEIGA, 2015). Desta forma, podemos dizer que o conceito NZE se aplica a empreendimentos neutros a nível climático, alto desempenho energético, com necessidades nulas ou

mínimas de energia, que são supridas por fontes de energia renovável produzida no local ou nas proximidades, podendo estar ou não conectado à rede.

Dentro do que foi dito, tem-se ainda algumas classificações que apresentam características específicas dos sistemas NZE. Com isso, a literatura traz quatro classificações a seguir para os empreendimentos NZE, como mostra a Tabela 1:

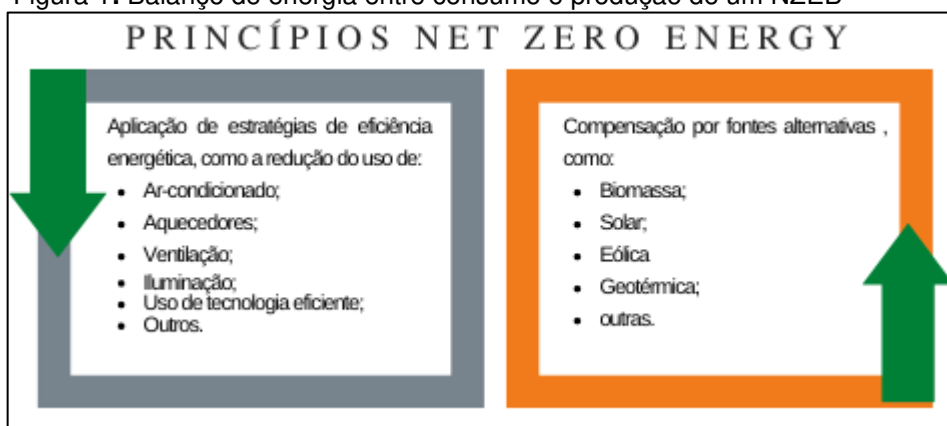
Tabela 1: Definições NZE.

Conceito	Definição
Net Zero site Energy ou Energia local zero	Produz-se a mesma quantidade de energia que é demandada no próprio local.
Net zero Source Energy ou Fonte de energia zero	Faz-se uso do conceito de energia primária, que é contabilizada na fonte e considera a eficiência geral do sistema de geração elétrica dos diferentes tipos de energia utilizados, principalmente na geração e transmissão da energia.
Net zero Energy costs ou Custos de energia zero	O custo pago pela energia que o edifício exporta para a rede deve ser igual a quantia que se paga à concessionária pelos serviços de energia.
Net Zero emissions ou Emissão Zero	A produção de energia deve ser por meio de fontes de energia de emissões zero carbono.

Recentemente, os edifícios com energia líquida zero (NZEBs) ganharam notoriedade na indústria da construção em muitos países, como uma solução promissora para reduzir o consumo de energia (FENG *et al.*, 2019) e emissões de GEE. Para que um empreendimento seja considerado *Net Zero Energy* ele precisa atender a alguns requisitos como medir e diminuir a emissão de gás carbono, reduzir a demanda de energia elétrica, gerenciamento sustentável de recursos, avaliação e aumentar as técnicas de monitoramento.

Nos ambientes construídos, o conforto térmico é uma das partes mais importantes e a que mais demanda uso de energia. Como exemplo, a Figura 1 mostra que uma condição para um edifício NZE é que as necessidades energéticas desse ambiente sejam menores ou iguais a energia produzida no local.

Figura 1: Balanço de energia entre consumo e produção de um NZEB

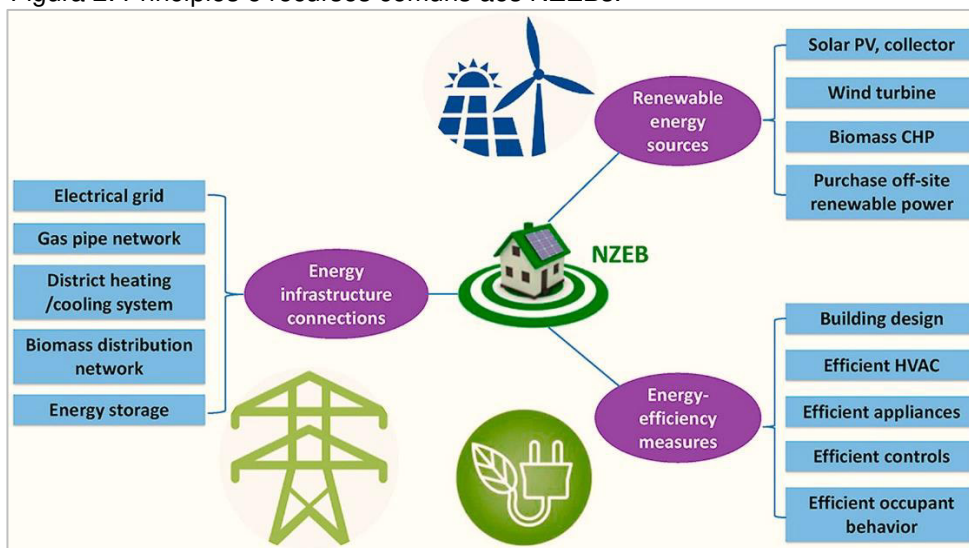


Fonte: Do Autor, 2021.

Diante da diversidade e realidade de cada local, é perceptível que nem sempre a geração de energia renovável in situ será suficiente para suprir toda a demanda energética de um ambiente, sem que haja outras medidas de eficiência no consumo de energia (COMISSÃO EUROPEIA, 2016) ou a importação de energia elétrica da rede.

Segundo Wu e Skye (2021), independente do conceito utilizado, é comum de todos estes o uso do conjunto de três princípios e recursos: (i) que estes locais estejam conectados a uma infraestrutura de energia; (ii) que tenham uma demanda de energia significativamente menor por meio de medidas de eficiência energética; (iii) que produza energia a partir de fontes de energia renováveis, como mostra na Figura 2.

Figura 2: Princípios e recursos comuns aos NZEBs.



Fonte: (WU; SKYE, 2021, p4).

Os NZEBs influenciam não só na redução dos impactos no meio ambiente, mas também contribui para a estabilidade da rede. Diante do exposto, em termos de edifícios com energia quase nula, o foco principal é a redução do consumo total de energia e a diminuição das emissões de CO₂.

3.2 Aspectos Legais

O surgimento do termo NZEB, como dito anteriormente, não é recente, porém a maior concentração de estudos e pesquisas encontra-se na União Europeia. O modelo de desenvolvimento e o padrão de consumo europeu trouxe inúmeros prejuízos ambientais, e em busca de mitigar principalmente as alterações climáticas, os estados membros têm se empenhado em cumprir os acordos ambientais firmados. Dentro desse contexto, a Tabela 2 a seguir traz os principais marcos legais que contribuíram para os estudos e aplicação deste conceito na Europa.

Tabela 2: Principais Diretivas Europeias que impulsionaram as edificações NZEBs.

Diretivas Europeias	Objetivos
Diretiva Europeia 2002/91/EU (EPBD)	Objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da Comunidade.
Diretiva 2006/32/EU (EPBD)	Objetivo de incrementar a relação custo-eficácia na utilização final de energia
Diretiva 2010/31/EU (DE2002/91)	Define NZEB e exige que os edifícios novos públicos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia após 31/12/2018, e o mais tardar a partir de 31/12/2020 todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia
Diretiva 2012/27/EU	Eficiência energética
Diretiva 2018/844/EU	Altera a Diretiva 2010/31/EU, relativa ao desempenho energético dos edifícios

*EPBD-Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios.

Os edifícios são os grandes consumidores de energia e recurso naturais da Europa, sendo assim a Diretiva europeia nº 2010/31/EU aborda as obrigações dos estados membros em garantirem que os edifícios já existentes se adequem para serem classificados neste conceito. Além disso no Art. 2 desta mesma diretiva diz que:

Artigo 2.º desta diretiva é citado que cada Estado Membro se compromete a reduzir ainda mais as emissões de gases com efeito de estufa entre 80% a 95% relativamente a 1990, aumentar a percentagem do consumo de energias renováveis, obter poupanças de energia e aumentar a segurança energética, a competitividade e sustentabilidade.

Ademais, a Diretiva de Desempenho Energético de Edifícios determinou que todos os novos edifícios sejam construídos como NZEB a partir de 2021 (SHAMIM *et al.*, 2020). A diretiva ainda ressalta sobre a importância de melhorar o desempenho energético, reduzindo a necessidade de iluminação, sistemas de aquecimento e resfriamento. Seguindo este mesmo exemplo, os Estados Unidos (EU) também se comprometeram a adequar seus edifícios neste mesmo conceito até 2050.

Shamim *et al.* (2020) relata em suas pesquisas os objetivos do EU, Canadá e Japão neste sentido, os EUA e Canadá ambicionam introduzir amplamente o conceito entre os anos 2020 e 2030, enquanto o Japão adotará o conceito como padrão de construção a partir de 2030.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2015) o consumo de energia residencial no Brasil chegará a 219,4 GWh, representando uma taxa de crescimento de 1,7 % a.a., e prevê o aumento de 39 milhões de novas residências até 2050, resultado dos avanços socioeconômicos do país. O equilíbrio entre oferta e demanda de energia é o ponto crucial da obtenção de um balanço nulo/zero de energia, sendo que os principais aparatos legais no Brasil são as políticas de eficiência energética.

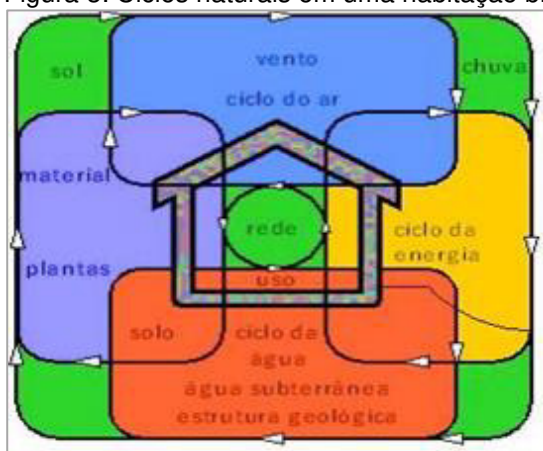
No caminho em busca da eficiência energética no Brasil, a lei Nº 10.295 de outubro de 2001 contribuiu para que fosse lançado o plano para eficiência energética de edifícios pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica do Brasil (Procel) em 2003 (BRASIL, 2001). E em sequência, em 2009 foi criado sistema de etiquetagem de eficiência energética conhecido como Regulamento Técnico da Qualidade dos Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2010) e em 2010 o Regulamento Técnico da Qualidade de Edifícios Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012). Como podemos ver na Tabela 3 tem-se os principais decretos relativos à eficiência energética no Brasil.

Tabela 3: Legislação de eficiência energética brasileira.

Legislação	Principais Objetivos
Decreto n. 20.466, de 01/10/1931	Foi um dos primeiros instrumentos legais relacionados à eficiência energética. Ele instituiu o primeiro horário de verão no Brasil, “no período de 11h de 03/11/1931 até 24h de 31/03/32, em todo o Território Nacional”.
Decreto no 41.019, de 26/02/1957	Visava regulamentar os serviços de energia. O Art. 10, inciso I, desta “Caberá ao Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica - CNAEE determinar ou propor a utilização mais racional e econômica das instalações”.
PROCEL (1985); CONPET; PBE	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel); Programa Nacional de Racionalização do uso dos derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET); Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).
Lei nº 9.427 de 26/12/1996	Finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal.
Lei nº 10.295 de 17/10/2001	Lei nº 9.991-24/07/2000- P&D que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia
Decreto nº 4.059 de 19/12/2001	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) e, para edificações, o Grupo Técnico para Eficientização de Energias nas Edificações no País (GT-MME), visando o uso racional da energia elétrica nas edificações.
Lei Nº 10.295 de 10/10/2001	Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.

Estes regulamentos propõem metodologias para classificar o desempenho energético dos edifícios. Além disso, para o Brasil, a NBR 15220-3 apresenta uma primeira versão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (a exemplo ver Figura 3), na qual o desempenho térmico das edificações pode ser otimizado em função de recomendações técnico-constructivas adaptadas às condições climáticas regionais (ABNT, 2005).

Figura 3: Ciclos naturais em uma habitação bioclimática.



Fonte: Adaptado Jankovic, 2017, p 20.

Observe na Figura 3 que é importante trabalhar uma visão holística do local de construção, para melhor aproveitar os recursos e condições locais e elevar os níveis de eficiência, reduzindo a dependência de eletricidade. Outro ponto forte a se considerar neste estudo são as resoluções que normatizam a micro e minigeração distribuída, como é o caso das resoluções da ANEEL, a nº 482/2012 e a nº 687/2015. A Resolução Normativa nº 482 foi promulgada em 2012 e traz em seu escopo os princípios gerais de mini e microgeração distribuída, proíbem a comercialização de energia de consumidores com demanda inferior a 500 kW. Mais tarde em 2015, a mesma lei foi alterada pela Resolução Normativa nº 687, trazendo novas definições e normas de geração.

Entretanto, como não se trata apenas do consumo de energia, Fernandes (2018) diz que “face a realidade de legislação existente na Europa, o Brasil não apresenta ainda legal ou mandatoriamente nenhum dispositivo normativo de incentivo para utilização de energia renovável que utilize o conceito de *Net Zero Energy Building*, sendo assim pouco discutido pela sociedade”, sendo este um grande desafio para o alcance de edifícios/empreendimentos NZE no país.

3.3 *Net Zero Energy*: Desafios e situação atual

O número de edifícios, empreendimentos e casas que se enquadram no conceito NZE cresceu nos últimos anos. A pesquisa de Wu e Skye (2021) aponta que apesar dos números conhecidos, estes não trazem a real quantidade de empreendimentos dessa categoria e que há uma tendência contínua de crescimento dos NZEBs.

Segundo Feng et al. (2019), os NZEBs avançam ligeiramente nos países desenvolvidos, enquanto nos países em desenvolvimento enfrentam desafios e barreiras. Nesta mesma pesquisa, o autor afirma que, de 300 edifícios listado no mapa do Programa de Aquecimento e Resfriamento Solar (SHC) da Agência Internacional de Energia (IEA), mais de 90% destes NZEBs estão localizados nas regiões desenvolvidas da União Europeia (UE) e EUA. O desenvolvimento dos NZEB varia de acordo com as políticas para o desenvolvimento sustentável de cada país. O que leva também ao entendimento de que este desenvolvimento e aplicação depende das demandas, exigências e comportamento dos consumidores finais.

A pesquisa de Marszal et al. (2011) afirma que existem duas grandes barreiras para a implantação do empreendimento NZE, em primeiro tem-se a necessidade de uma definição comum e precisa, e em segundo uma metodologia para efetivar o cálculo do balanço de energia. Um outro fator importante é a mudança no setor energético global no que tange a disponibilidade de penetração na rede de energia elétrica (Li *et al.*, 2021).

Uma outra abordagem interessante e que podem comprometer os objetivos de energia zero, é o fato de que se comparados aos edifícios padrão, os NZEBs geralmente requerem mais material e mais componentes, como painéis solares etc. (Zomer *et al.*, 2020). Este fato pode encarecer o empreendimento e ainda induzir a geração de impactos ambientais durante as outras fases da vida do edifício.

Zhou et al. (2016) relatou em sua pesquisa que há uma gama de trabalhos relacionados aos NZEBs, porém estes estudos baseiam-se em simulações e teoria. Feng et al. (2019) diz o desenvolvimento dos trabalhos neste sentido, se concentram em sua maioria a regiões frias e secas, e que há uma carência de estudos voltados para regiões quentes e úmidas. Dada a complexidade da estrutura em muitos dos casos, é difícil conhecer as demandas reais e funcionamento dos prédios existentes. No entanto, os esforços para construir métricas claras deste conceito tem permanecido em todo mundo.

Autores como Wu et al. (2018) e Ascione et al. (2019) tem buscado em seus estudos métodos que possam avaliar de forma precisa o balanço de energia dos NZEB. Wu et al. (2018) por exemplo, buscou aplicar um modelo validado experimentalmente para medir os impactos no consumo de energia dos NZEB, com este modelo foi estudado energia, desempenho econômico das tecnologias (refrigeração/aquecimento) e conforto do ambiente. No entanto, Ascione et al. (2019) optou pelo monitoramento e aplicação de um modelo numérico para avaliar o desempenho energético em condições climáticas diferentes.

O que se percebe, é que as barreiras nos desenvolvimentos dos NZEBs nos países em desenvolvimento são causadas principalmente por questões econômicas, visto que os investimentos iniciais são elevados e o tempo de retorno não é instantâneo. Desta forma é preciso avaliar o custo-benefício das tecnologias empregadas em edifícios com energia líquida zero, envolvendo condições diferentes.

4. REQUISITOS PARA UM EMPREENDIMENTO NET ZERO ENERGY

As envolventes para que um empreendimento seja considerado NZE vão além do consumo de energia e autoprodução. Estes edifícios são de baixo consumo (energia, água, luz etc.) e geralmente abastecidos com sistemas de energia próprios. Para alguns autores os NZEB precisam seguir uma hierarquia para serem classificados em edifícios de alto desempenho (CONSOLI, 2021; WU e SKYE 2021), como segue a Figura 4:

Figura 4: Hierarquia estratégica para a concepção de um NZEB.



Fonte: Adaptado de Asian European Engineering, 2019.

O uso de uma hierarquia facilita a estratégia quanto ao design, no entanto é necessário o refinamento para as tomadas de decisões menores (TORCELLINI *et al.*, 2006; WU; SKYE, 2021). A avaliação quanto à implantação destas técnicas deverá considerar o clima e microclima, orientação com relação a incidência solar, ventos, áreas cobertas, expostas ou envidraçadas. Também é necessário explorar as estratégias e as condicionantes locais para a implantação, que devem levar em consideração a relação entre planejamento ambiental, conforto e bem-estar das pessoas.

Diante do exposto, apresenta-se nesta seção estratégias utilizadas para o enquadramento no conceito NZE e as certificações existentes. As certificações exercem um papel importante nos mercados, trazendo maior competitividade, qualidade e melhoria contínua. No setor da construção não é diferente, as certificações que atestam bom desempenho energético garantem a valorização dos imóveis e melhores olhares por se tratar de empreendimentos que buscam

desenvolver-se sustentavelmente. A exemplo, no final desta seção serão apresentados alguns empreendimentos classificados como NZEB.

4.1 Métodos passivos

O aumento das construções e por muitas vezes inadequado, resultou na construção de ambientes ineficientes do ponto de vista energético, já que demandam muita energia para manter o conforto. Com base nisso, a fim de melhorar e adequar estes estabelecimentos às normas de desempenho, a engenharia tem buscado a aplicação de técnicas de retrofit como forma de solucionar os problemas de manutenção, adequação estética, arquitetônica e prolongar a vida útil de muitos edifícios. Além disso, vale ressaltar que muitos destes empreendimentos possuem valores culturais.

Autores como Khan (2020) e Corbella e Yannas (2003), dizem que, um projeto passivo é aquele que usa a arquitetura bioclimática, se adequando ao clima local e ao meio ambiente, apresentando menor consumo de energia, visando a melhoria da qualidade de vida no ambiente construído e no entorno, garantindo assim maior conforto.

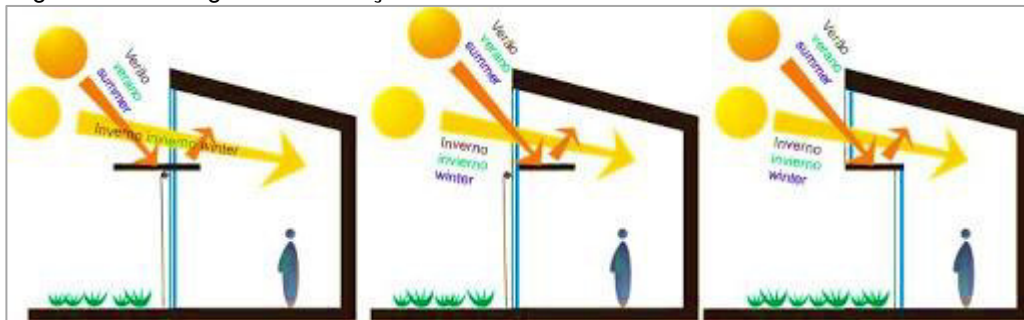
Os métodos passivos buscam a aplicação de estratégias que diminuam o consumo de eletricidade e promovam melhor conforto ambiental em uma edificação (BILÉSIMO *et al.*, 2019). As tecnologias passivas envolvem maior isolamento térmico, vidros de melhor desempenho, redução de perdas por infiltração de ar ou recuperação de calor (DUTRA, 2020). A evolução no setor da construção civil possibilitou a criação de materiais cada vez mais eficientes. Uma alternativa também é o aproveitamento das condições como luz e ventilação natural, vegetação e sombreamento, isolamento térmico e outros.

Nessas circunstâncias, os métodos passivos se tornam uma boa estratégia para os países em desenvolvimento e regiões quentes e úmidas, visto que há possibilidade de aplicar baixos investimentos iniciais e estratégias de rentabilidade com curtos períodos de retorno para promover o desenvolvimento de NZEBs.

4.1.1 Luz natural

O aproveitamento da luz natural é uma das estratégias que mais se utiliza no campo da arquitetura inteligente. Essa estratégia produz conforto, bem-estar e economia devido redução da necessidade de luz artificial (ver Figura 5).

Figura 5: Estratégia de iluminação natural.



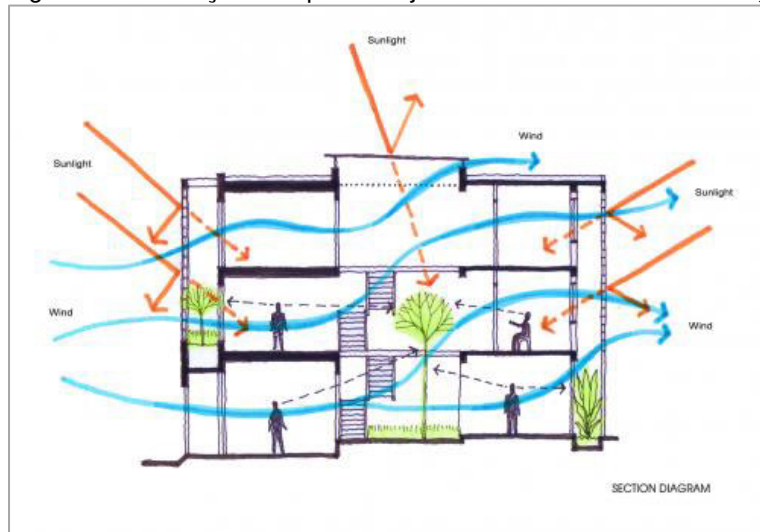
Fonte: Adaptado de Bioclimaticarquitetura, 2021.

É importante lembrar que todas estas técnicas precisam ser trabalhadas de forma holística, considerando outros fatores uma vez que o aumento da penetração de luz natural dependendo do local, pode aumentar a necessidade de sistemas de ventilação e refrigeração devido ao acúmulo de calor, e este fato pode comprometer o desempenho energético da edificação.

4.1.2 Ventilação natural

O método da ventilação natural é uma técnica que dependendo da região, pode trazer total independência de sistemas de ventilação, trazendo conforto aos usuários dos ambientes. Como todas as estratégias, esse método também exige um estudo detalhado para que este tipo de recurso seja aproveitado ao máximo. Sendo assim, essa abordagem pode ser feita utilizando inúmeras envolventes como planejamento do espaço, orientação do edifício, formato, aberturas com janelas, portas e ventiladores. A aplicação desta metodologia vai facilitar a circulação de ar dentro do ambiente, isso pode ser facilmente percebido na Figura 6 abaixo.

Figura 6: Orientação das portas e janelas favorecendo a ventilação natural.



Fonte: Adaptado de Archdaily, 2021.

4.1.3 Vegetação e sombreamento

É sabido que a presença de vegetação pode proporcionar benefícios como controle da temperatura interna e externa, além de proporcionar sombreamento (FIGUEIREDO, 2018). A presença da vegetação pode gerar um microclima no entorno do empreendimento, e ainda irá filtrar e barrar os ventos. A Figura 7 a seguir mostra a aplicação dessa estratégia em edifício construído para uma expansão do aeroporto de Málaga na Espanha.

Figura 7: Edifício de referência para uma expansão do aeroporto de Málaga, Espanha.



Fonte: Adaptado de (MENDES, 2018, p 21).

Além do uso da vegetação, o sombreamento pode ser feito a partir de outras técnicas, como o uso de vidraçarias combinadas com as fenestraçãoes. Devendo também ser observado os ganhos de calor do ambiente externo para o interno.

4.1.4 Isolamento térmico

O isolamento térmico é uma medida que busca principalmente reduzir a transferência de calor entre o interior e exterior de um edifício contribuindo para que o ambiente interno se torne mais agradável. Hoje, existem muitos materiais sintéticos ou orgânicos que podem ser usados para este fim (FIGUEIREDO, 2018).

No entanto, apesar da gama de materiais existentes, sendo os mais usados a celulose, fibra de vidro e a lã mineral, quando se trata de um ambiente que esteja em busca de se tornar sustentável, deve-se buscar conhecer a procedência e ciclo de vida deste material.

4.2 Métodos ativos

Os sistemas ativos são aqueles que possuem maior dependência de energia para seu funcionamento. A necessidade de adequação às mais variadas regiões e climas carregam a necessidade de estratégias que facilitem o modo de vida da população e tenha o máximo de conforto possível. A saber, os sistemas de aquecimento, refrigeração, ventilação mecânica ou sistemas de energia.

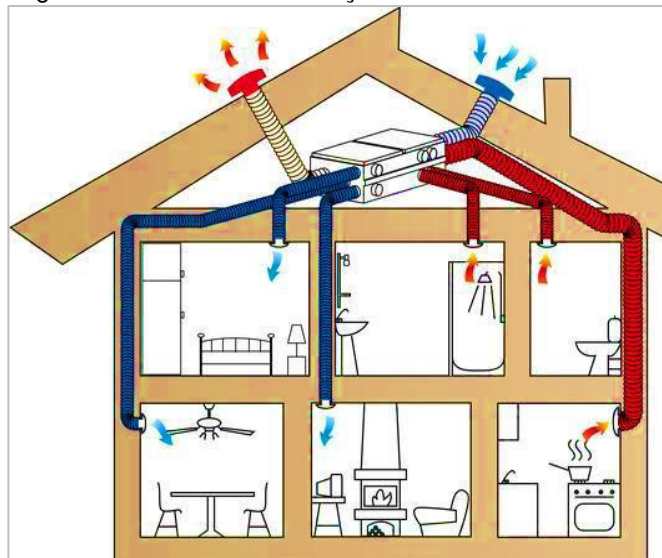
A aplicação desse tipo de sistema, como dito anteriormente, é responsável por pelo menos 40% do consumo de eletricidade, seja em edifícios, residências ou indústria. Com isso, a indústria da construção civil tem buscado novas formas e tecnologias para diminuir não só a dependência de eletricidade, como a necessidade destes. A seguir serão apresentados os métodos ativos mais conhecidos.

4.2.1 Ventilação mecânica

A ventilação mecânica é um método usado nos casos em que a ventilação natural não é suficiente. No caso dos empreendimentos NZE é necessária a

integração destes dois sistemas para que a demanda de energia seja reduzida. Ver Figura 8 .

Figura 8: Sistema de ventilação mecânico.



Fonte: Adaptado de Tr.skopelitissa, 2021.

Nesse tipo de sistema de ventilação e exaustão mecânica, é feito a captação do ar externo (azul) usando ventiladores axiais de baixa rotação, e em seguida distribui a massa de ar em todo o ambiente, renovando o ar interno. E na parte vermelha tem-se o sistema de exaustão.

4.2.2 Luz artificial

Na elaboração dos projetos, o conforto luminoso é um dos principais objetivos que o projetista deseja atingir. Como aborda os autores Viana e Gonçalves:

A iluminação deve ser concebida junto com o projeto, não posteriormente, pelo simples fato de que ela é um dos elementos essenciais na caracterização do próprio espaço (função-forma-cor). Se analisarmos mais profundamente o problema, veremos que mesmo os princípios que ordenam as soluções de iluminação desses projetos são quase que totalmente aleatórios. Não contam com respaldo em conhecimentos mais precisos, tanto do ponto de vista tecnológico como econômico e, principalmente, da utilização da iluminação como instrumento da própria concepção do espaço (VIANNA; GONÇALVES, op. cit., p. 27).

Dada a sua importância, atualmente temos normas que regem o uso da iluminação artificial. Por exemplo, a NBR 15575 (2013a) estabelece os limites mínimos com relação ao uso de iluminação artificial residencial. E ainda, a norma NBR ISO/CIE

8995-1 (2013b) que define níveis mínimos de iluminância necessários para diferentes tipos de atividades em ambientes de trabalho.

Nesse contexto ambas as normas estabelecem valores médios de iluminação, tanto residencial como em outros ambientes. No entanto, Silva de Moraes et al. (2018) defende que ao considerar apenas os fatores da legislação, pode haver uma limitação na inserção de novas tecnologias associadas ao desempenho energético dos sistemas de iluminação.

4.2.3 Uso eficiente de água e escolha de materiais construtivos

O tratamento e purificação de água geram elevados custos tanto financeiros como ambientais. Logo, a incorporação de sistemas ou estratégias que utilize mecanismos para redução do consumo de água potável e água em geral, é fundamental para o alcance dos objetivos NZE.

Neste contexto, medidas como sistemas de tratamento de esgoto local e uso de cisternas para aproveitamento da água da chuva são medidas que podem ser incorporadas aos ambientes, minimizando a carência de água bruta. O setor construtivo tanto consome como gera grandes quantidades de resíduos, sendo assim a escolha de materiais é um fator chave, quando o conceito NZE considera todo o ciclo de vida do ambiente construído.

4.2.4 Tecnologias de geração de energia renovável

O uso das fontes de energia renovável possibilitou a produção em quantidade e locais muito mais diversificados. Além disso, essa forma de geração é vista como alternativa para suprir a crescente demanda de eletricidade em todo mundo. A geração de energia no local ou próximo do local pode minimizar as perdas durante a transmissão e gerar maior segurança. Segundo Ribeiro e Silveira (2016) a geração no local de uso “consegue fornecer energia elétrica confiável e com perdas reduzidas, já que estas perdas podem chegar a 17% nas grandes linhas de transmissões”. Os projetos de NZE devem considerar as conexões de infraestrutura disponíveis, as fontes de energia disponíveis, as condições climáticas e os fatores econômicos (WU e SKYE, 2021).

De acordo com (BELLIDO, 2018):

Redes de distribuição passaram a ter um papel protagonista e desafiador na operação do sistema, não só na superação de certas barreiras tecnológicas, mas também contrabalançando os efeitos intermitentes da geração renovável, aleatoriedade no comportamento dos consumidores e, principalmente, garantindo ou aumentando a qualidade e segurança no fornecimento da energia elétrica que a economia mundial digital moderna demanda (BELLIDO, 2018).

Estas fontes podem ser facilmente integradas à arquitetura (Sistema Fotovoltaico Integrado-BIPV) e trazerem muitos benefícios. Por exemplo, o uso de painéis fotovoltaicos além de produzir eletricidade é uma alternativa de substituição de materiais de acabamento, favorecendo a iluminação natural e sombreamento. E ainda, o uso de painéis ou células fotovoltaicas integradas às fachadas ou coberturas traz valorização arquitetônica do local e fomenta a sustentabilidade. Quanto a outras renováveis, podem ser usadas, além da energia solar, biomassa, eólica, a depender da disponibilidade energética destes recursos.

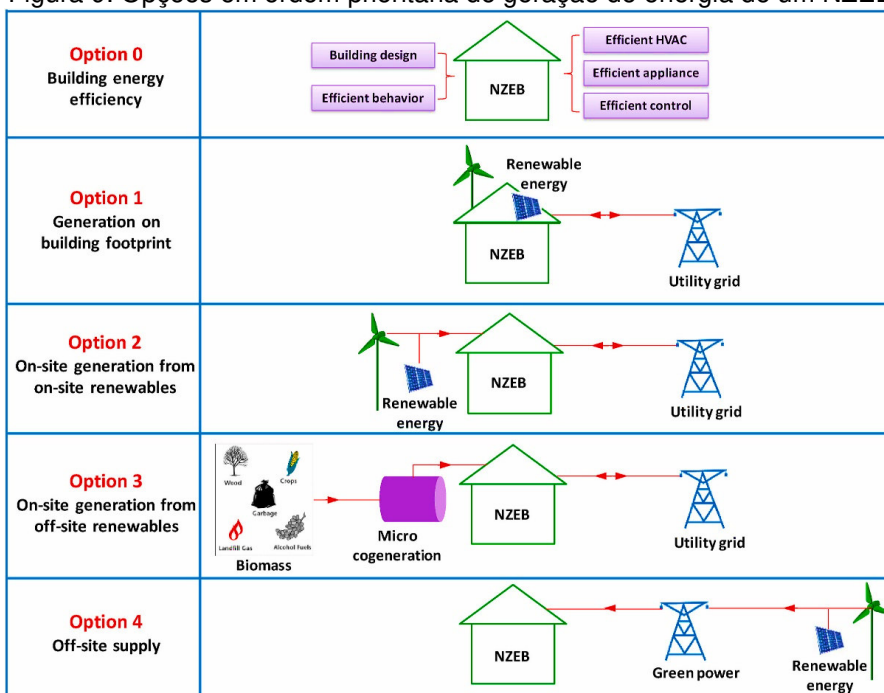
O estudo do benefício de diferentes estratégias de eficiência energética em edifícios, devem obedecer a parâmetros climáticos específicos do local de interesse de implantação do edifício NZE. E quanto ao uso de energia fotovoltaica, a irradiação solar é a questão chave, embora a temperatura de operação determine seu desempenho (Rey-Hernández *et al.*, 2018).

Tsalikis e Martinopoulos (2015) afirmam que, em um contexto geral a energia fotovoltaica sozinha pode suprir 76% da demanda de eletricidade em um edifício, com um tempo de retorno inferior a sete anos. Outro fato a se considerar, é que há possibilidades de excedentes ou falta de energia, devido à variabilidade da fonte de geração. No Brasil hoje contamos com as resoluções da ANEEL que regulamenta o uso de energia solar fotovoltaica em várias escalas, microgeração, minigeração ou em grande escala.

Neste cenário, alguns autores desenvolveram uma combinação de em ordem de aplicação, priorizando as medidas de eficiência energética e modelo de geração (TORCELLINI *et al.*, 2006; WU;SKYE, 2021). A ordem principal, como é visto na opção 0 da Figura 9 é que o local tenha um design de alto desempenho energético, minimizando a necessidade de sistemas de ventilação, refrigeração, aquecimento, luz

artificial, elevando a eficiência energética do local. A ordem de preferência segue de acordo com a Figura 9:

Figura 9: Opções em ordem prioritária de geração de energia de um NZEB.



Fonte: Adaptado WU e SKYE, 2021.

Obedecendo a ordem de prioridades temos: (i) Geração na planta do edifício (o que minimiza o uso do solo); (ii) Geração no local a partir de fontes renováveis; (iii) Geração no local a partir de fontes renováveis fora do local; e (iv) Fornecimento de energia através de uma planta renovável externa.

De acordo com o tipo de geração, se houver excesso de energia produzida, este deverá ser injetado na rede, e sabendo que estas fontes são intermitentes, a importação de energia será necessária quando os recursos renováveis forem insuficientes para suprir o edifício. Uma opção é o uso de sistemas de armazenamento para atenuar estes desequilíbrios entre fonte de geração e demanda.

Em um contexto geral para alcançar o desempenho NZE as exigências são reduzir o uso geral de energia, aumentar a eficiência do sistema, implementar oportunidades de recuperação e cogeração de energia e, após aplicar estas medidas, compensar a demanda restante com a produção de energia renovável a partir de fontes locais (SHIN *et al.*, 2019). Sendo assim, a cogeração de energia também é um princípio que deve ser observado, pois a interdependência de sistemas de geração contribui diretamente para o fornecimento contínuo de energia.

A energia solar fotovoltaica é vista pela literatura como a mais atraente no alcance dos objetivos NZE. Como já mencionado, o uso de painéis fotovoltaicos pode trazer grandes vantagens e valorização para o imóvel, além disso esses sistemas reduzem a necessidade de áreas extras para instalação, já que podem ser agregados a própria arquitetura, e também são sistemas com boa vida útil e exigem pouca manutenção.

O uso da biomassa como estratégia NZE, também se apresenta como uma alternativa promissora. Biomassa é toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal que é usada na produção de energia. A biomassa é uma fonte de energia que já vem sendo utilizada há décadas, e apesar deste fato sua participação na matriz energética brasileira ainda é pequena, contribuindo com cerca de 8,3% de acordo com a ANEEL e ABSOLAR (2020).

Como biomassa podemos citar o bagaço da cana de açúcar, lenha, carvão e dejetos animais. Na criação de animais, há uma grande produção de carga orgânica, aumentando uso de biodigestores. Nos biodigestores a digestão anaeróbica é uma das formas mais comuns de diminuição dessa carga orgânica, e em consequência tem-se a produção de biogás.

O biogás é um resíduo da biomassa, que é considerado uma fonte de energia renovável com benefícios ambientais, econômicos e sociais, uma vez que o processo produtivo possibilita o tratamento de resíduos e efluentes, com redução de emissões, e produção de digestato com propriedades fertilizantes. De acordo com sua origem, os substratos do biogás são divididos em três classes: agricultura, indústria e aterros ou estações de tratamento de esgoto (CAVAIGNAC *et al.*, 2021).

A composição do biogás depende da matéria orgânica usada no processo de produção, mas é composto basicamente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), água e outros gases. O biogás é resultado da digestão das bactérias em um biodigestor, e pode ser aproveitado para produzir eletricidade. Dentre os dejetos animais que mais produzem biogás, os dejetos dos suínos apresentam maior potencial de geração, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Produção de biogás.

Origem do Material	Kg de esterco (dia.unidade geradora)⁻¹	Kg de biogás Kg de esterco⁻¹	Concentração de Metano
Suíno	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%
Equinos	12	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%
Abatedouro (Kg)	1	0,1	55%
Vinhoto (Kg)	1	0,018	60%

Fonte: Centro Nacional de Referência em Biomassa- CENBIO.

Além disso, no Brasil a resolução ANEEL nº 482/2012 regulamenta a injeção de energia na rede elétrica, favorecendo os sistemas de biogás e fotovoltaicos. Diante do que foi exposto, o uso de biodigestores e painéis fotovoltaicos são tecnologias promissoras e que podem contribuir para o alcance da autonomia energética.

4.3 Certificações

4.3.1 Certificação LEED

A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um conjunto de normas que tem como objetivo avaliar as construções ambientalmente sustentáveis (GBC Brasil). Os ambientes certificados trazem benefícios sociais e econômicos para os empreendimentos, além de promover o desenvolvimento sustentável.

A certificação LEED atua na medição do desempenho e classifica o empreendimento, fornecendo a verificação dos ambientes construídos, empregando estratégias para melhoria do desempenho quanto a eficiência energética, consumo de água, redução de emissões de CO₂, qualidade ambiental e gestão dos recursos e sensibilidade aos seus impactos (MENG ;TAM, 2015; DE OLIVEIRA *et al.*, 2020).

O sistema LEED de Certificações foi criado em 1993 nos Estados Unidos e possui diferentes modalidades e tipos (DE OLIVEIRA *et al.*, 2018). Os níveis dos certificados são dados de acordo com os pontos adquiridos em relação aos seguintes aspectos, conforme a Figura 10.

Figura 10: Requisitos para pontuação dos certificados LEED.



Fonte: Adaptado UCLA sustainability, 2021.

Além disso são atribuídos os créditos que seguem as seguintes regras e selos, apresentados na Figura 11:

Figura 11: Selos de certificação LEED.



Fonte: Adaptado de GBC Brasil, 2021.

- Empreendimento Certificado (19 a 40 pontos);
- Silver (50 a 59 pontos);
- Gold (60 a 79 pontos);
- Platina (80 ou mais pontos).



Além das certificações LEED, tem-se também o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method* ou Método de avaliação ambiental dos estabelecimentos de pesquisa em edifícios) que foi desenvolvido no Reino Unido e o sistema HQE (*Haute Qualité Environnemental* ou Alta Qualidade Ambiental) desenvolvido na França.

4.3.2 Green Building Council Brasil – GBC Brasil

As certificações *Net Zero Energy* no Brasil são a critério da GBC- Brasil, que certifica muitos outros empreendimentos. A Green Building Council Brasil conceitua que NZE são todos aqueles empreendimentos que são passíveis de comprovar que o consumo de energia anual é zerado a partir das combinações de eficiência energética e uso de energia renovável.

Essa certificação é aplicada para residências, condomínios residenciais, prédios comerciais, lajes corporativas, centro de distribuição e *data centers*. Outro requisito importante é que este estabelecimento já tenha pelo menos um ano de funcionamento. Para que o empreendimento esteja dentro do conceito, a GBC-Brasil analisa os créditos apresentados na Figura 12 a seguir:

Figura 12: Aspectos monitorados para obtenção do Selo Zero Energy da GBC-Brasil.

Requisitos analisados para a obtenção da Certificação NZE	
1 Tempo de ocupação e taxa mínima de ocupação.	2 Eficiência energética mínima para a geração on site e off site. 
3 Tipologia e metragem mínima de áreas construídas.	4 Geração de energia renovável on site e off site; Compra de créditos de energia renovável. 
5 Atendimento a legislação e empreendimentos off grid.	6 Uso de energia não renovável e balanço energético anual do empreendimento.

Fonte: Do autor, 2021.

O conceito de energia zero está se tornando popular à medida que os custos de produção de tecnologias de energia alternativa diminuem, enquanto os custos dos combustíveis fósseis tradicionais aumentam combinando os avanços na construção,

sistemas de energia renovável e pesquisa acadêmica, a criação de edifícios com energia zero líquida está se tornando mais viável (NEMATCHOUA *et al.*, 2021).

Segundo a GBC Brasil, atualmente existem cerca de 14 empreendimentos no Brasil certificados como NZE, sendo que a maioria são projetos piloto. A Tabela 5 traz uma breve descrição de cada um destes empreendimentos e estados onde estão localizados

Tabela 5: Empreendimentos com Certificados NZE no Brasil.

Nome do Projeto	Cidade	Estado	Versão	Data Registro	Certificado	Data Certificação	Proprietário	Consultoria	Área (m²)
Sede RAC Engenharia	Curitiba	PR	Piloto		Sim	01/11/2018	Ricardo Luiz Cansian	Petinelli	600
Creche Municipal Hassis	Florianópolis	SC	Piloto		Sim	10/12/2020		Petinelli	1000
Centro Sebrae de Sustentabilidade	Cuiabá	MT	Piloto		Sim	28/07/2017	Sebrae MT	Micro-usina: USP	1080
GEO Energética	Tamboará	PR	Piloto		Sim	07/08/2017	GEO Energética	Petinelli	313
De Paola e Panasolo sociedade de advogados	Curitiba	PR	Piloto		Sim	15/10/2018	De Paola e Panasolo sociedade de advogados	Petinelli	500
Lar Verde Lar	Governador Valadares	MG	Piloto		Sim	04/07/2018	Controle Prestação de Serviços	Lar Verde Lar	189
Loft Alameda Formosa	Santana de Parnaíba	SP	Piloto		Sim	17/06/2019	Triplic Empreendimentos E Participações	Matheus Penazzo	704,55
Plasmetal	Londrina	PR	Piloto		Sim	30/10/2018	Plasmetal	Petinelli	810
Petinelli CWB	Curitiba	PR	Piloto		Sim	11/10/2018	Petinelli	Petinelli	1000
Univali Biguacu	Biguaçu	SC	Piloto		Sim	10/12/2020	Univali	Petinelli	9800
Uberlândia Refrescos CD	Uberlândia	MG	Piloto	17/08/2018	Sim	18/09/2019	URLA	Petinelli	20005
Orquidário	Curitiba	PR	v.01	21/12/2018	Sim	24/03/2020	Rosa Maria Beltrão Rischbieter	Forte Soluções Ambientais	747
SECONCI	Curitiba	PR	v.01	16/09/2019	Sim	10/12/2020	SINDUSCON PR	Petinelli	2938
Camisas Polo Salvador	Salvador	BA	v.01	16/09/2019	Sim	13/06/2019	Hari Hartmann	Green Edifica Consultoria	12364,47

Fonte: GBC Brasil, 2021.

Diante deste cenário, é visível que o conceito tem avançado no país nos últimos anos, principalmente nos estados mais ao sul, comprovando o que tem sido abordado em outras pesquisas que defendem que estes estudos estão mais voltados para regiões de climas mais amenos. Logo, é visível os avanços dos empreendimentos NZE no Brasil, no entanto há uma carência de novos estudos.

4.4 Exemplos de empreendimentos *Net Zero Energy*

Nesta seção apresentaremos alguns exemplos de empreendimentos que alcançaram desempenho energético elevado ou nulo pelo mundo, conquistando certificação NZE.

4.4.1 Solar XXI

Localizado em Lisboa/Portugal, o edifício Solar XXI é uma das primeiras iniciativas portuguesas em relação ao conceito NZE, este edifício produz mais energia do que o que consome. O edifício foi inaugurado em 2006, tratando-se de um edifício de demonstração de alta eficiência energética, onde foi associado energia renovável e tecnologias passivas.

Segundo Gonçalves (s.d.) o projeto procurou aumentar o uso de energia renovável em conjunto com estratégias passivas como: otimização térmica da envolvente, aumento da área para ganhos solares, dispositivos de sombreamento, fachada fotovoltaica para gerar eletricidade, recuperação de calor por convecção natural na fachada fotovoltaica para aquecimento do ambiente, sistemas de arrefecimento, e iluminação natural. O resultado pode ser visto na Figura 13 abaixo.

Figura 13: Edifício Solar XXI, Portugal.



Fonte: Adaptado de Shahin e Sumiyoshi, 2018.

O edifício possui 20 m² de painéis solares como estratégia ativa, a energia coletada é usada para o aquecimento das águas, sendo apoiados por uma caldeira a

gás natural. Para gerar eletricidade são usados 300 m² de painéis fotovoltaicos com capacidade de geração de 127 kWh/m². Ano (MENDES, 2018).

4.4.2 Edifício *SunnyWatt*

O Edifício *SunnyWatt* está localizado na Suíça, e foi o primeiro a ser certificado como NZEB no país. Construído em 2010, este edifício produz toda a sua energia por painéis fotovoltaicos (LABORDA, 2015). Neste projeto foi considerada a orientação para melhor aproveitamento da luz natural, janelas grandes, isolamento térmico, energia geotérmica e solar em conjunto. Ver Figura 14.

Figura 14: Edifício *SunnyWatt*, Suíça.



Fonte: Adaptado de (Laborda, 2015, p 31).

4.4.3 *Beddington Zero Energy Development (BedZED)*

A *Beddington Zero Energy Development (BedZED)* é uma eco-vila localizada no Reino Unido formada por um conjunto de cem habitações. As habitações usam painéis fotovoltaicos e vidros triplos. A produção de energia é feita por cogeração, onde esse sistema funciona a partir da queima de restos madeira industrial, o gás gerado da queima alimenta o gerador elétrico e o calor gerado é aproveitado para aquecimento.

A produção de eletricidade é feita por painéis fotovoltaicos, sendo 800 m² de células (RIBEIRO; SILVEIRA, 2016). Conforme a Figura 15 a seguir.

Figura 15: Vila *Beddington Zero Energy Development*.



Fonte: Adaptado de (Potting, 2015, p35.)

Nesta vila os principais requisitos com relação ao NZE são as baixas emissões, considerando não só das habitações, mas também a eficiência na utilização de materiais, consumo de água e uso de automóvel. Na construção do NZEB, buscou-se obter materiais de construção o mais próximo possível e aproveitar ao máximo os materiais reciclados. Estas ações ajudaram a reduzir os impactos ambientais do transporte e beneficiaram a economia local e regional.

4.4.5 Centro Sebrae de Sustentabilidade

Os passos para alcançar o conceito NZE no Brasil andam em passos largos, assim como em toda a América Latina (GBC, 2014). No entanto, já vem surgindo os primeiros estabelecimentos com certificação NZE no Brasil, como é o caso do Centro Sebrae de Sustentabilidade de Mato Grosso, que é um dos primeiros empreendimentos a serem certificados pela GBC-Zero Energy no país.

Figura 16: Painéis solares no Sebrae de sustentabilidade.



Fonte: Sebrae de Sustentabilidade MT, 2021.

O prédio combina alta eficiência energética, geração de energia renovável (Figura 16), aproveitamento de águas pluviais, reaproveitamento de materiais, coleta seletiva e reciclagem. O formato do edifício principal buscou acentuar a cultura indígena (Yawalapiti) do local, tendo um formato ogival, e incorpora vidraçarias e concreto armado, explicitando aspectos tecnológicos da construção, conforme a Figura 17.

Figura 17: Edifício principal do Sebrae.



Fonte: Sebrae, 2021.

Em maio 2016 foi instalada uma micro usina de 45kWp conectada à rede, o objetivo foi suprir 100% da demanda de energia do prédio. Segundo o Sebrae (2018) o projeto e instalação do micro usina são formas de implantação de unidades demonstrativas de Eficiência Energética e Energias Renováveis do Sebrae/MT. Todas as medidas adotadas foram capazes de gerar um balanço anual zero no consumo de energia do prédio obtendo a certificação *Net Zero Energy*.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Estudo de Caso

O estudo de viabilidade técnica e econômica é um instrumento bastante utilizado no ramo da engenharia econômica como forma de analisar ideias e métodos que possam trazer determinados benefícios para um empreendimento. Este tipo de estudo é realizado para auxiliar na tomada de decisão nos negócios, principalmente quanto as reduções de custos.

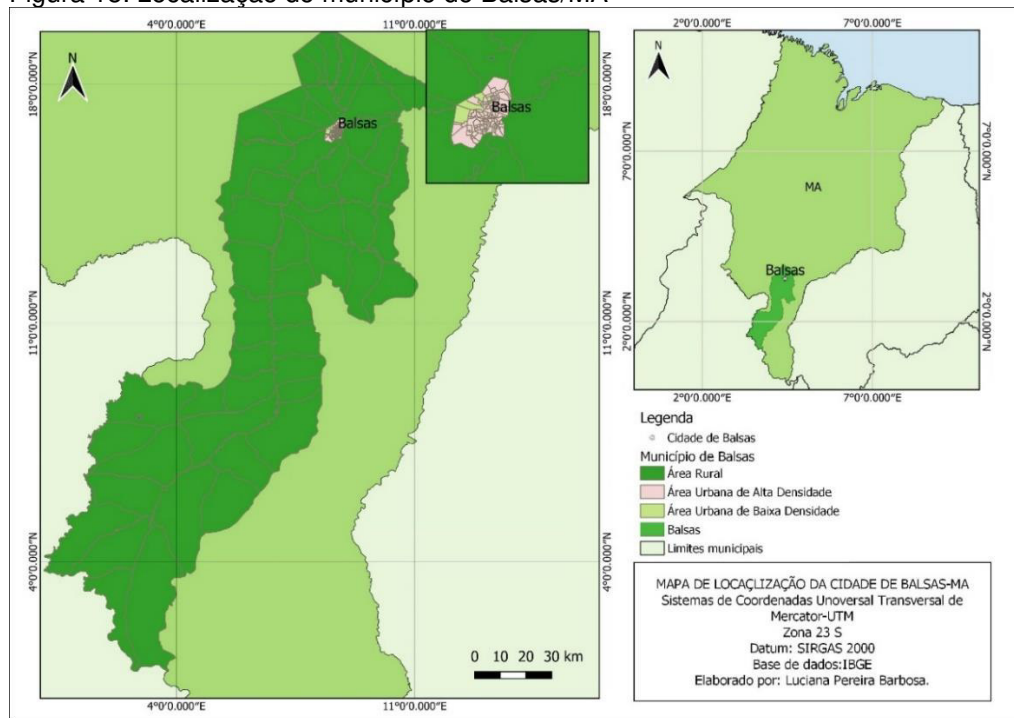
Para esta pesquisa, o objeto é uma granja de suínos localizada na cidade de Balsas/MA. A granja possui um biodigestor, que no momento encontra-se desativado por questões técnicas e econômicas. E diante do cenário local, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnico-econômica de geração energética local a partir de biomassa e solar fotovoltaica, no contexto de NZE.

O proprietário da granja autorizou o uso dos dados obtidos no estudo que foi realizado para o biodigestor em 2018, onde, no escopo deste estudo foram apresentados cinco cenários dos quais foram utilizados os cenários 1 e 2 por se enquadrarem como modelo de geração distribuída. Para os cálculos e análises de irradiância, foram utilizadas ferramentas como o Excel, Quantum GIS (QGIS) e Google Earth Pro.

5.2 Definições Preliminares

A Agromina é um dos maiores criadouros de suínos do sul do Maranhão, e está localizada nas proximidades da cidade de Balsas/MA, latitude 07°34'16" S e longitude 46°07'27", MA 140. O município de Balsas está localizado no interior do Estado (Figura 18), e com base no último censo, a cidade possui um pouco mais de 100 mil habitantes. A principal atividade econômica da região é a agricultura e criação de animais para frigorífico.

Figura 18: Localização do município de Balsas/MA



Fonte: Do autor, 2021.

A Figura 19 foi construída usando imagens do Google Earth Pro, e mostra uma vista superior do local da granja, esta imagem é relativamente recente, a mesma foi obtida no início do segundo semestre de 2020.

Figura 19: Vista superior da Agromina.



Fonte: Do autor, 2021.

As coordenadas foram inseridas usando o QGIS 3.10. A Agromina está localizada a aproximadamente 6 km do centro da cidade de Balsas e atualmente no local funciona um escritório, silos e as baias onde os suínos se encontram.

5.3 Estudo de Viabilidade para implantação de biodigestor

Vale mencionar que as informações apresentadas nesta seção são provenientes do relatório (ESTUDOS DE CENÁRIOS DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O PROJETO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA DA AGROMINA), cedido pelo proprietário da AGROMINA.

O estudo de viabilidade para geração de energia elétrica através do biodigestor foi feito em 2018, pela empresa Catena Planejamento Territorial Ltda, e foram consideradas cinco opções de geração.

- Geração distribuída de energia com gerador de 330 kVA;
- Geração distribuída de energia com gerador de 120 kVA;
- Geração distribuída de energia com 2 geradores de 120 kVA;
- Geração de energia em barra aberta com gerador de 330 kVA;
- Geração de energia em barra aberta com 2 geradores de 120 kVA;

Mas neste estudo será considerado apenas os dois primeiros. Com base no estudo da Embrapa de Manejo de dejetos suínos (Dartora *et al.*, 1998) e considerando a quantidade de animais, foram estimados a produção de dejetos para dia, meses e ano, conforme a Tabela 6. Este tipo de análise é que vai determinar o quanto de biogás será produzido e, conseqüentemente, a quantidade de energia elétrica resultante.

Tabela 6: Produção De Biogás

	Produção de dejetos total		
	m ³ dia	m ³ mês	m ³ ano
Total	105,12	3.197,92	38.375,05

Fonte: Agromina, 2018.

Para estimar a demanda de eletricidade, foi feita uma análise de consumo da unidade consumidora Agromina, que apresenta um consumo médio de 43.132,00 kWh mensal. O valor médio do kWh da UC é de R\$ 0,86, no entanto, o proprietário recomendou o uso de R\$ 0,45 / kWh, devido a ajustes feitos junto a concessionaria. A Tabela 7 mostra que a partir dos resíduos gerados é possível produzir mais energia do que o que se consome, o que de um ponto de vista econômico seria bastante lucrativo para a empresa.

Tabela 7: Geração de Energia em kWh (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).

Cenários		
Geração de energia (kWh)		
Itens	Cenário 1	Cenário 2
Diária	3.046,20	1.868,30
Mensal	92.665,40	56.833,69
Anual	1.111.984,85	682.004,23

Fonte: Agromina, 2018.

De acordo com o mesmo relatório disponibilizado pela empresa, para a operação do biodigestor foram estimadas despesas anuais, que entre as quais destacam-se despesas com funcionário, manutenção dos geradores, seguro do sistema, consultoria, conservação e manutenção. Os gastos de operação estão entre R\$ 68.056,00 e R\$ 117.486,00, sinalizando um custo significativamente alto (ver Tabela 8). De acordo com o relatório, os cenários 1 e 2 são considerados conforme detalha a Resolução da ANEEL N° 687/15, se enquadrando no conceito de geração distribuída.

Tabela 8: Custos Detalhados para Manutenção e Operação do Biodigestor (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).

Custos		
	Cenário 1º	Cenário 2º
1 funcionário	27.677,00	27.677,00
Manutenção dos geradores	66.809,00	21.379,00
Seguro do sistema	10.000,00	7.000,00
Consultoria externa	10.000,00	10.000,00
Conservação e manut. de benfeitorias	3.000,00	2.000,00
Total	117.486,00	68.056,00

Fonte: Agromina, 2018.

O valor de investimento e juros contabilizados no estudo de viabilidade em questão (Tabela 9), sugere uma taxa de juros de 6,18% a.a., e 0,52% mensais, apesar de que o relatório relata que foi usado uma taxa de 7% a.a., com dois anos de carência e 10 anos para quitação do financiamento, considerando um financiamento de 100% do investimento.

Tabela 9: Investimento e o valor dos juros (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).

Financiamento	Cenário 1º	Cenário 2º
Investimento (R\$)	1.385.525,00	670.094,00
Juros (R\$)	442.922,00	214.214,00
Total (R\$)	1.828.447,00	884.308,00

Fonte: Agromina, 2018.

A análise econômica foi feita usando indicadores como taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL), Payback e margem operacional. Os resultados podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10: Indicadores econômicos obtidos (Estudos de Cenários de Viabilidade Econômica para o Projeto de Geração de Energia Elétrica da Agromina).

Cenários		
Indicador econômico	Cenário 1º	Cenário 2º
Valor presente líquido (R\$)	1.074.055	958.843
Taxa interna de retorno - TIR (%)	29	48
Tempo de retorno ou Payback (anos)	4,5	3,5
Fluxo de caixa médio (R\$)	286.778	193.586,00
Total do investimento (R\$)	1.385.525	670.094,00
Margem operacional (%)	34	45

Fonte: Agromina, 2018.

Diante das informações apresentadas, pode se verificar que a Agromina possui um alto potencial para geração de energia elétrica a partir da biomassa resultante da suinocultura. A quantidade de dejetos tem potencial gerador maior que a demanda energética da unidade consumidora.

No detalhamento da resolução sobre geração distribuída, relata que o excedente de energia poderá ser injetado na rede e convertido em créditos que poderá ser resgatado posteriormente. Ademais, o excedente de eletricidade poderia ser revendido nas proximidades locais. Os cenários com boa viabilidade são os de geração distribuída apresentados no estudo (1, 2), apresentando bons indicadores econômicos.

5.4 Estudos de Viabilidade para implantação de painéis fotovoltaicos

No cenário atual, as pesquisas mais avançadas sobre o conceito NZE relatam a predominância dos sistemas fotovoltaicos como fonte de energia. Sendo que na maioria dos estudos foram empregados módulos fotovoltaicos em telhados ou na própria fachada, tanto para as construções residenciais como não residenciais. Considerando que as fontes renováveis possuem características intermitentes, os NZEBs conectados à rede buscam produzir o máximo de energia para consumo próprio, reduzindo ao mínimo a quantidade de energia importada da rede.

A partir de 2012, com a Resolução Normativa (NR) nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), tem-se observado o crescimento de pessoas físicas e jurídicas que tem adotado sistemas de energia solar em suas casas e empreendimento. Este fato se dá devido a facilidade que este regulamento trouxe para a geração própria, tanto para micro como minigeração.

Dentre as fontes renováveis a energia solar fotovoltaica apresenta características menos complexas na sua utilização, aumentando a instalação desses sistemas dentro e fora da rede. A obtenção de eletricidade pela fonte solar é resultado da irradiância que é absorvida pelo painel fotovoltaico. Logo é preciso considerar vários parâmetros nos estudos voltados para estes sistemas, principalmente os climáticos.

Os níveis de irradiância podem afetar diretamente o desempenho dos sistemas fotovoltaicos, bem como os custos. Logo, é importante saber quanta energia solar será produzida. Existem hoje estações solarimétricas que coletam dados de irradiância em todo o mundo, sendo possível obter estes dados e realizar os cálculos de projeção de geração de energia elétrica. Sendo assim, a energia solar gerada está condicionada a condição meteorológica e a quantidade de irradiância presentes em cada local.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em sua base de dados traz mapas de irradiação solar para todo o país em todos os meses do ano. E com base nestes dados, pode-se verificar as condições e potencial de geração de energia solar fotovoltaica no estado do Maranhão.

Uma outra fonte de dados é o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), onde os dados são disponibilizados em diversos formatos, permitindo a aplicação de um filtro para melhor análise dos dados. Através deste filtro, verificou-se que o potencial é bastante promissor, estando entre 5,50 e 5,75 Wh/m².dia na média anual no Estado, e especificamente para a cidade de Balsas no interior a média de irradiação global anual é de 5,35 Wh/m².dia.

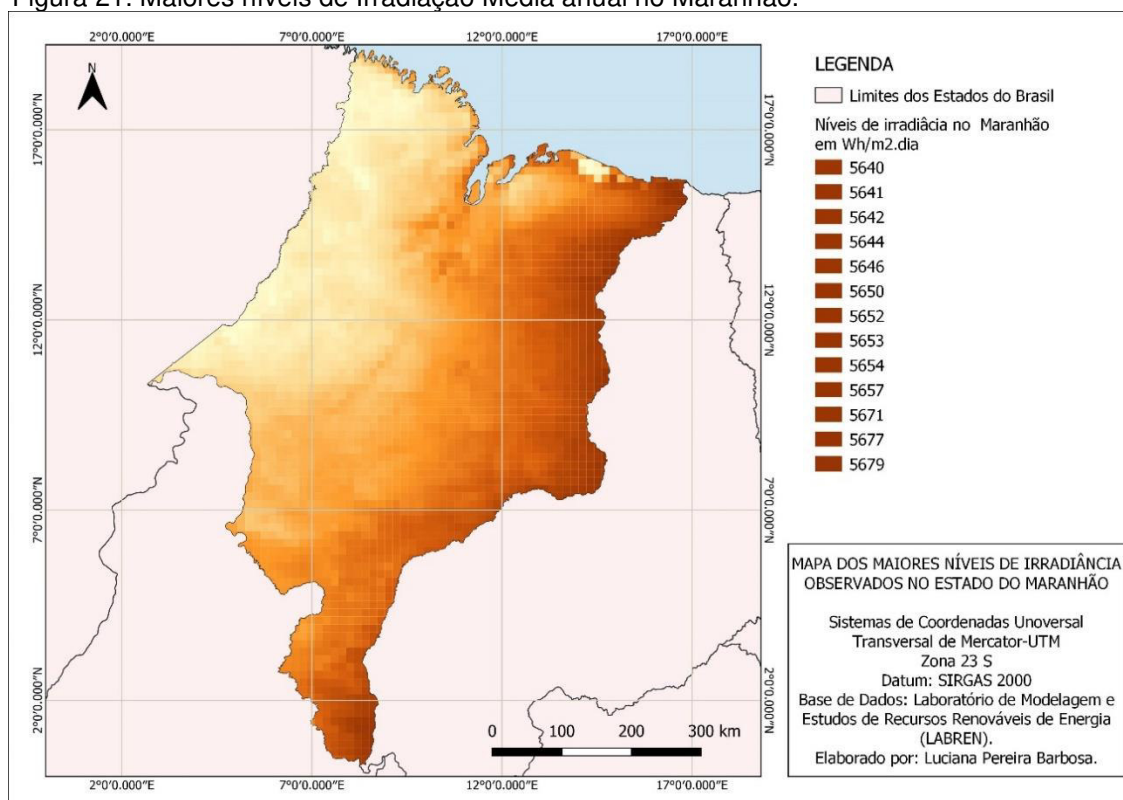
Figura 20: Valores de irradiação solar média ao longo do ano em Balsas/MA.

Estação	Município/UF	País	Irradiação Solar diária média (kWh/m ² .dia)																
			Latitude	Longitude	Distância	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Balsas	Balsas/MA	Brasil	7,501°S	46,049°O	3,9	4,96	5,07	5,07	5,11	5,18	5,30	5,34	5,88	6,40	5,72	5,18	5,08	5,36	1,44
Balsas	Balsas/MA	Brasil	7,601°S	46,049°O	7,7	4,93	5,09	5,02	5,08	5,17	5,31	5,40	6,02	6,44	5,71	5,2	5,07	5,37	1,51
Balsas	Balsas/MA	Brasil	7,501°S	45,949°O	10,1	4,97	5,08	5,09	5,13	5,20	5,32	5,35	5,88	6,39	5,74	5,18	5,09	5,37	1,43

Fonte: CRESESB,2020.

Com base no banco de dados do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), foi construído mapa de irradiação solar para o estado e para a cidade em questão. Lembrando ainda, que estes valores são os níveis de irradiação máxima ao longo do ano, como podemos ver nos mapas (Figura 21 e Figura 22).

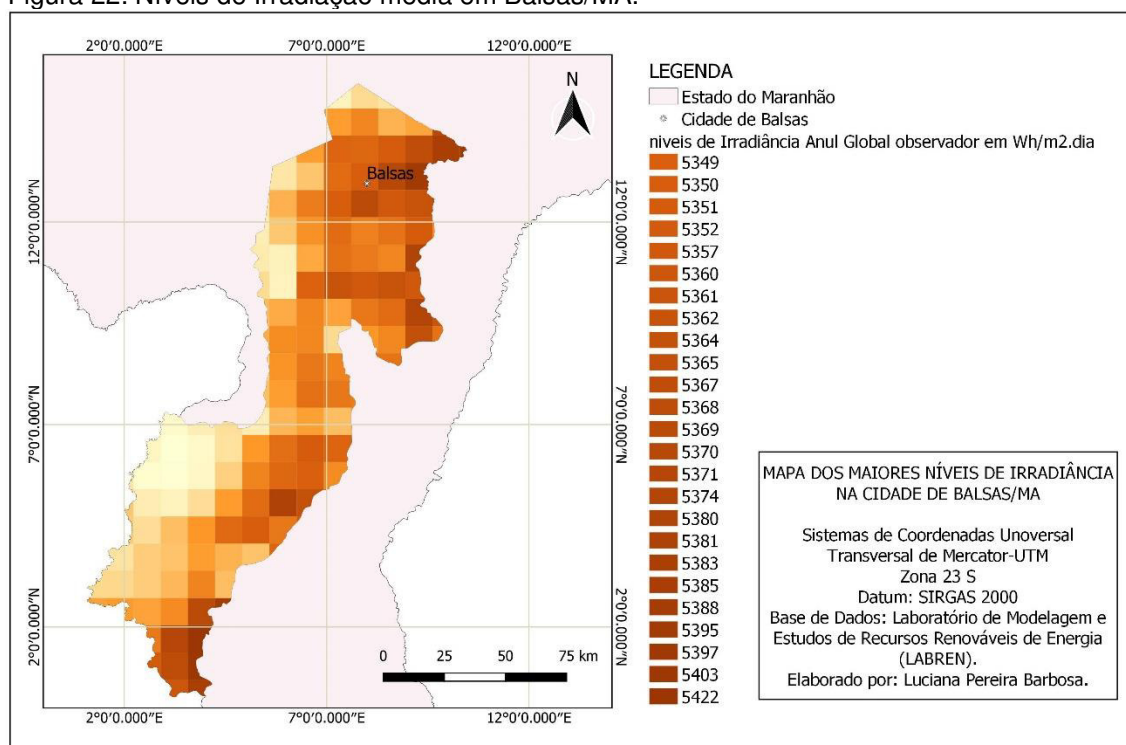
Figura 21: Maiores níveis de Irradiação Média anual no Maranhão.



Fonte: Do autor, 2021.

A Figura 21 mostra os valores de irradiação média anual no estado do Maranhão utilizando-se uma base de dados do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis (LABREN). Nota-se que os os maiores valores de irradiação foram obtidos na região leste do estado em divisa com o Estado do Piauí, uns dos fatores é que a região Nordeste possui maior abundância solar que qualquer outra região do país. Já a Figura 22 relata os níveis de irradiação média para o município de Balsas-MA.

Figura 22: Níveis de Irradiação média em Balsas/MA.



Fonte: Do autor, 2021.

De acordo com a Figura 22, os maiores valores de irradiação encontrados para o município de balsas foram encontrados na região oeste, sudoeste do município. A área urbana da cidade também apresenta valores acima de outras regiões do município.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Dimensionamento do Sistema Solar Fotovoltaico

Considerando que as células consigam aproveitar mais de 70% da radiação incidente para a conversão de eletricidade (LI et al., 2019), como mostra a literatura, o dimensionamento foi realizado para um sistema interligado na rede elétrica. Os componentes principais de um sistema fotovoltaico são as placas, inversores, e estrutura de fixação. Com base no estudo realizado pela Catena, considerou-se, conforme a Tabela 11, 6 horas de sol pleno, aproximadamente 80% de eficiência do sistema (anexo I) e painéis de 400 Wp em função do consumo da Agromina.

Tabela 11: Características do sistema fotovoltaico dimensionado.

Dimensionar sistema FV (400 Wp/módulo)	
Agromina	
Consumo (kwh) / mês	43.132,00
Valor (R\$)	19.409,40
HSP (horas de sol pleno)	6
Eficiência aprox.	80%
Potência total instalada (kWp)	295,39
Quantidade de placas	738
Inversor (Qtd 4 de 25 kW)	100
Custo de disponibilidade (kWh)	100,00
Energia gerada (kwh) / mês	49.232,05

Fonte: Do autor, 2021.

Feito o dimensionamento, foi obtido um valor de potência total a ser instalada de 295,39 kWp, 738 placas e 4 inversores de 25 kW, não foi considerado custos de iluminação pública. Com isso obteve um valor de investimento desse sistema de R\$ 952.207,27. Para este investimento foi considerado o valor do fluxo de caixa médio dado no segundo cenário, R\$ 193.586,00, do estudo de viabilidade da Catena, e os resultados estão expressos na Tabela 12 a seguir.

Tabela 12: Indicadores econômicos do sistema fotovoltaico dimensionado.

Indicadores econômicos	
Payback (anos)	6,24
IL	2,37
VPL	1.303.763,28
TIR	20%
Financiamento	1.452.400,09
Juros	7%

Fonte: Do autor, 2021.

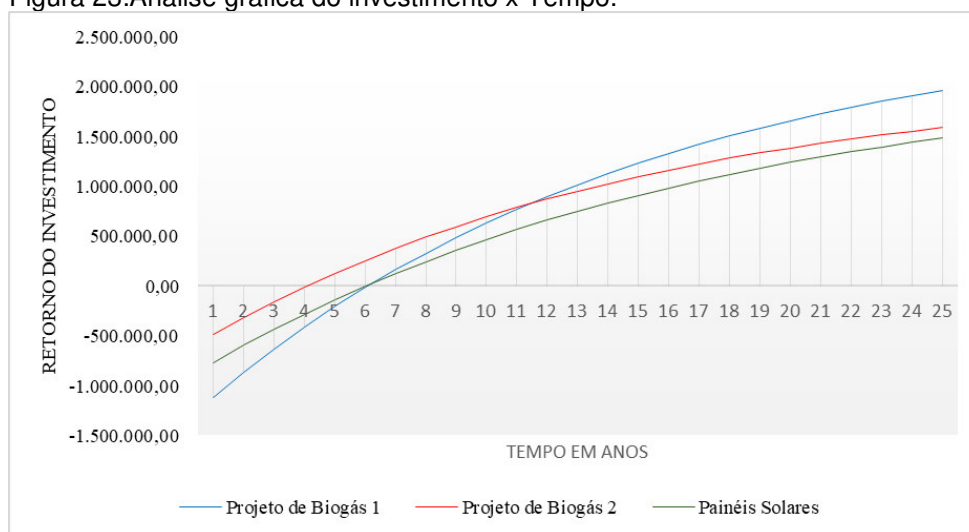
Esses resultados possibilitaram a projeção da conta de energia da Agromina para um cenário de 25 anos, considerando uma queda de rendimento do sistema de 0,7 % ao ano (Ver Anexo I). Cabe também esclarecer que esta análise considerou um financiamento de 100% do investimento, a uma taxa de 7%, considerando como referência os valores estabelecidos no site do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), onde os valores de financiamento estão entre 7 e 8%. Com base nas considerações foram projetados os valores das parcelas, estipulando uma quitação do investimento em 70 meses, os resultados são apresentados no Anexo II.

O que se percebe é que durante o período de pagamento da parcela do investimento, somado ao valor da conta de energia, o custo seria um pouco maior que o custo de energia convencional. No entanto, após esse período os benefícios econômicos são mais evidentes.

6.2 Estudo comparativo do biodigestor e sistema fotovoltaico

O estudo realizado sobre o potencial gerador da Agromina com o uso do biodigestor e sistema fotovoltaico, mostra que ambos são economicamente viáveis, com base nos indicadores econômicos. De acordo com o gráfico (Figura 23), pode-se perceber que o projeto 1 (cenário 1) do biogás e o sistema fotovoltaico apresentam tempo de retorno bem próximos, porém a viabilidade de investimento do biodigestor se torna mais promissora, já que terá maior excedente de energia (energia gerada no cenário 1 = 92.665,40kWh mensal), e em contrapartida tem gastos mais elevados de manutenção e operação. Apesar de não ser explicitado neste estudo, a literatura aponta que a necessidade de manutenção para a geração fotovoltaica é mínima, o que torna este tipo de investimento bastante atraente em relação ao anterior.

Figura 23: Análise gráfica do investimento x Tempo.



Fonte: Do autor, 2020.

O Projeto 2 (cenário 2) do biogás o potencial de geração é de 56. 833,69 kWh mensal, possui menor investimento e tempo de retorno relativamente pequeno em relação aos outros dois cenários, mas assim como o primeiro, estará limitado pela escassez de mão-de-obra técnica local e custos de operação e manutenção do sistema elevados.

Diante do exposto, é notável que há um potencial gerador significativo, e que em ambos os casos seriam suficientes para suprir a demanda de energia elétrica da propriedade, mas pela simplicidade, a implantação do sistema elétrico fotovoltaica é mais interessante, além das condições locais e regionais, que conferem uma média de irradiação relativamente boa na maior parte do ano.

Quanto aos resíduos da suinocultura, sabe-se que os resíduos suínos liberam dióxido de carbono (CO₂) e não devem ser dispostos de forma inadequada, pois podem causar impactos negativos ao meio ambiente. O proprietário relatou que usa esses dejetos como biofertilizantes nos solos cultiváveis da propriedade, fornecendo muitos dos nutrientes necessários para a produção da cultura local.

Vale destacar que o objetivo deste estudo é servir como uma análise comparativa preliminar da viabilidade econômica entre ambas as fontes de geração, de modo que as informações sobre o perfil de consumo e regime de faturamento utilizadas neste estudo são provenientes de estudo anterior fornecido pelo proprietário da empresa, que serviram de base para a realização do estudo de viabilidade técnico-econômica da planta solar fotovoltaica, além da análise comparativa do ponto de vista econômica entre ambos os sistemas. Informações adicionais, por exemplo, sobre a

classe de consumo e regime de tarifação ao qual o consumidor faz parte são necessárias para a elaboração de um estudo de viabilidade econômica mais detalhado.

A Agromina apresentou grande potencial no uso do biodigestor, no entanto as questões voltadas para a parte técnica, principalmente devido a falta de mão de obra qualificada influenciou na tomada de decisão, já que o biodigestor foi desativado. A cidade de Balsas/MA possui bons níveis de irradiância ao longo do ano fazendo o uso de um sistema solar fotovoltaico uma boa opção para suprir a demanda energética da empresa, no que diz respeito as medidas de eficiência necessária para reduzir a necessidade de energia não foram aplicadas, já que na prática este estudo se limita ao estudo de fontes de energia renovável para suprir a demanda do local.

Usar o biodigestor do ponto de vista econômico proporcionaria mais ganho para a empresa e teria maior excedente de energia para a exportação, no entanto a flexibilidade e a pouca manutenção exigida pelo sistema fotovoltaico é uma boa opção em substituição ao biodigestor. Com base no dimensionamento realizado, o sistema é suficiente para suprir a unidade consumidora (Agromina) e ainda tem uma parcela de 6.100,05 kWh em excedente que pode ser exportado a rede.

Nos resultados de viabilidade econômica o tempo de retorno do investimento no sistema fotovoltaico é de aproximadamente 6 anos, praticamente o mesmo que no cenário 1 do biodigestor. O cenário 2 do biodigestor apresentou bons resultados, mas como dito anteriormente, está limitado a questões técnicas. Outro ponto muito importante é a legislação que, apesar de regulamentar a inserção de novas fontes na rede e as políticas de crédito, acaba coibindo o consumidor quando este, busca a autonomia energética.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscando reduzir os impactos, aproximar o consumidor da fonte e aumentar a segurança energética, o uso de sistemas de energia renovável integrado as construções é uma forma promissora de cumprir objetivos como a redução de emissões de gases tóxicos e maior uso de fontes de energia de baixo impacto ambiental. Devido ao conceito NZE ainda não ter uma definição comum, as pesquisas realizadas estão limitadas aos locais de pesquisa e aplicação dos estudos. Baseando-se no estado da arte, o fato da maioria dos estudos se concentrarem em regiões de clima frio, incita a iniciativas a novas pesquisas e aplicações deste conceito em locais de clima quente e úmido.

O conceito *Net Zero Energy*, ainda que pouco conhecido, é atraente no sentido de promover a melhoria dos métodos construtivos, redução da necessidade de extração de novos recursos, redução da emissão de gases poluentes, a inserção de novas plantas de geração renovável e eficiência energética. De forma geral, quanto as construções existentes a alternativa que se tem usado é técnica de *retrofit*. Essas técnicas podem melhorar a arquitetura e aumentar a eficiência energética dos ambientes. Nos dias atuais é notório o aumento do uso de plantas renováveis em casas, condomínios, edifícios e empreendimentos, principalmente os sistemas solares fotovoltaicos. O uso de painéis fotovoltaicos traz inúmeros ganhos as construções, sendo a tecnologia favorita nas construções NZE.

Os NZE ou NZEBs buscam trabalhar um ambiente como um todo, desde a extração de matéria prima até o fim da vida útil dos locais onde se aplica este conceito. Em locais isolados a necessidade de um sistema de armazenamento poderia encarecer o sistema, no entanto os conectados à rede podem injetar os excedentes de energia para a rede que sua geração for maior que o consumo.

Em suma os principais pontos que levaram ao surgimento e evolução dos NZEBs foram as preocupações ambientais no início da década de 90, os *cases* de sucesso que contribuiriam para a melhoria das políticas construtivas, redução dos custos e aperfeiçoamento das tecnologias fotovoltaicas, e por último o potencial deste conceito em agregar novas tecnologias e potencial na redução das emissões de gases de efeito estufa.

A necessidade de conforto da humanidade requer uma mudança na forma de desenvolvimento e expansão atual. O conceito NZE tem se mostrado uma alternativa viável para as novas construções e melhoria das atuais. A demanda de energia cresce rapidamente, e o esgotamento das fontes atuais e seus impactos, exige maior aplicação de fontes de energia renovável. O fornecimento de energia de forma ininterrupta é um grande desafio para os governantes, os sistemas atuais interligados por grandes extensões causam grandes perdas, surgindo a necessidade de aproximar o consumidor da fonte de geração.

Este estudo mostrou que a aplicação do conceito NZE pode se estruturar como uma solução para os ambientes ineficientes energeticamente e ainda trabalhar estratégias de redução do uso de materiais nocivos ao meio ambiente, além de reduzir a emissão de GEE. Apesar dos regulamentos existentes e metas estipuladas por alguns dos países presentes no Acordo de Paris (COP 21), a literatura aponta que ainda existem barreiras neste avanço, principalmente nos países em desenvolvimento.

Questões de natureza econômica e de legislação também devem ser consideradas. No entanto, no Brasil por exemplo não há uma norma que regule os NZE, sendo que os estudos se apoiam nas políticas de eficiência energética. O uso de fontes como biomassa e solar fotovoltaica se mostraram alternativas viáveis, cumprindo os objetivos deste estudo. Como foi mostrado o potencial de geração de eletricidade para suprir a demanda de energia na Agromina foi comprovado em ambos os casos, e ainda com saldo positivo de energia. O estudo de viabilidade técnica e econômica foi de suma importância neste estudo, mostrando que o tempo de retorno do investimento nos sistemas são relativamente curtos, sendo economicamente atraentes. Sendo assim o uso destes sistemas trará benefícios ambientais, sociais e econômicos para este estabelecimento.

Biomassa e solar são fontes renováveis e de baixo impacto ambiental, e considerando que um dos requisitos de um NZE é suprir sua necessidade de energia por uma fonte renovável, este conceito pode ser aplicado a Agromina, o que não exclui a necessidade de trabalhar a aplicação de medidas de eficiência energética. Já que um dos primeiros passos seria reduzir a necessidade de eletricidade ao máximo dos ambientes.

Diante do que foi exposto neste trabalho e cenário mundial atual, fica evidente que o conceito *Net Zero Energy* é uma ferramenta importante, tanto para o setor civil

como para o energético. Os impactos ambientais resultantes da forma e excesso de exploração são notáveis, levando a escassez de recursos e desequilíbrio ambiental. Portanto, o emprego de novos métodos, tecnologias construtivas e fontes energia alternativa é crucial para mitigar os impactos existentes e reduzir o surgimento de novos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 7 abr. 2012.

ANEEL. Relatório de Perdas de Energia Elétrica na distribuição, 2020. Disponível em :
<https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+d e+Energia+2019.pdf/6cb0bf36-4074-bbc3-d15d-ed370f44b34b>. acesso em março de 2021.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/>. Acesso em maio de 2021.

ARCHDAILY. Disponível em< https://www.archdaily.com/551010/b-house-i-house-architecture-and-construction/542214c4c07a800de5000134_b-house-i-house-architecture-and-construction_07_-_b_house_-_section_diagram-png>. Acesso em junho de 2021.

BIOCLIMATICARQUITETURA. Disponível em< <http://www.bioclimaticarquitectura.com.br/>>. Acesso em junho, 2021.

BRAJAL, F. M. G. Edifícios de emissão quase zero—Guia de requisitos para a construção. Departamento de Engenharia Civil, 2012.

ASCIONE, F.; BORRELLI, M.; DE MAIS, R. F.; VANOLI, G. P. Hourly operational assessment of HVAC systems in Mediterranean Nearly Zero-Energy Buildings: Experimental evaluation of the potential of ground cooling of ventilation air, Renewable Energy, Volume 155, 2020, Pages 950-968.

ASCIONE, F.; BORRELLI, M.; DE MAIS, R. F.; DE ROSSI F. Uma estrutura para o projeto NZEB no clima mediterrâneo: projeto, construção e monitoramento da configuração de uma pequena vila-laboratório Sol. Energia, 184 (2019), pp. 11 – 29.

BELLIDO, Marlon Max Huamaní. Microrredes elétricas: uma proposta de implementação no Brasil. 2018.

BILÉSIMO, Thayane L.; RAMPINELL, Giuliano A.; BREMERMAN, Leonardo Elizeire. Análise de estratégias de iluminação natural em uma planta piloto bioclimática para promoção da eficiência energética. Anais da Sociedade Brasileira de Automática, v. 1, n. 1, 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). 2010. Versão eletrônica 2. Anexo da Portaria INMETRO nº 372.

BRASIL. Decreto de Lei Nº10,295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá providências. Outubro, 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Eletrobrás. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R). 2012. Versão Eletrônica 2. Anexo da Portaria INMETRO nº 018/2012.

CAVAIGNAC, Renata S.; FERREIRA, Newton L.; GUARDANI, Roberto. Techno-economic and Environmental Process Evaluation of Biogas upgrading via amine scrubbing. *Renewable Energy*, 2021.

CHASTAS, Panagiotis et al. O efeito do impacto incorporado nos níveis de otimização de custos de edifícios com energia quase zero: um estudo de caso de um edifício residencial em Thessaloniki, Grécia. *Energias*, v. 10, n. 6, pág. 740, 2017.

CONSOLI, Isabel Oberderfer. Análise da sustentabilidade e eficiência energética de um edifício de habitação em light steel framing. 2021. Tese de Doutorado.

COUTINHO, Gabriel Leuzinger, VIANNA, João Nildo, DIAS, Maria Amélia. Alternatives for improving energy security in Cape Verde. *Utilities Policy*, Volume 67, 2020.

DA SILVA, Maria Luciene et al. Biodigestor Como Uma Tecnologia De Aproveitamento Dos Dejetos De Suínos: Alternativa Sustentável No Município De Barreira, Ceará. *Linkscienceplace-Interdisciplinary Scientific Journal*, v. 5, n. 3, 2019.

DARTORA, V.; PERDOMO, C.C. e TUMELERO, I.L. Manejo de dejetos de suínos. Boletim informativo de pesquisa. Embrapa Suínos e Aves e Extensão – Emater/RS. Nº 11, 1998.

DE ANDRADE, José Baltazar Salgueirinho Osório et al. Cenários futuros e tendências da geração de energia no Brasil: oferta e demanda e previsões de mitigação. **Journal of Cleaner Production** , v. 103, p. 197-210, 2015.

DUTRA, Leno Porto. Avaliação da relação entre eficiência energética e geração própria no ciclo de vida do edifício. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

GBC Brasil-Green Building Council Brasil. Disponível em <<https://www.gbcbrazil.org.br/docs/zero.pdf>>. Acesso em maio de 2021.

GBC BRASIL – Green Building Brasil. Disponível em: < <http://gbcbrazil.org.br/>> Acesso em junho 2021.

EUROPEIA, União. Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). *Jornal oficial da união europeia, Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, Estrasburgo*, v. 18, 2010.

EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia para 2027. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2019.

FENG, Wei et al. A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 114, p. 109303, 2019.

FERNANDES, Natâny MARGRAF. *Análise E Gestão De Eficiência Energética Em Edifícios Institucionais*, UFRJ. Rio de Janeiro, 2018.

HOXHA, Endrit; JUSSELME, Thomas. On the necessity of improving the environmental impacts of furniture and appliances in net-zero energy buildings. *Science of The Total Environment*, v. 596, p. 405-416, 2017.

GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento. Estudos Avançados**, v. 12, n. 33, p. 7-15, 1998.

GUIMARÃES, LN (2019). Desafios para a promoção de recursos energéticos distribuídos na América Latina: um estudo de caso brasileiro. *Consumer, Prosumer, Prosumager*, 235-258. doi: 10.1016 / b978-0-12-816835-6.00011-5.

ISOLANI, P.; et al. **Manual do consumidor: eficiência energética nos edifícios residenciais**. Lisboa: EnerBuilding.eu, 2008.

JANKOVIC, Marcela de Melo Germano da Silva. Estudo de caso de uma habitação de baixo impacto ambiental na cidade de Natal/RN. 2017. Dissertação de Mestrado. Brasil.

KAHN, Pamella. *Certificações edifício energia zero no Brasil. Certificações edifício energia zero no Brasil*, p. 1-388–416. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

KHALID H. Refat, REDWAN N. Sajjad. Prospect of achieving net-zero energy building with semi-transparent photovoltaics: A device to system level perspective, *Applied Energy*, Volume 279, 2020.

SILVA DE MORAES, Júlia; MUROS ALCOJOR, Adrián; SALAZAR BITTENCOURT, Leonardo. Análise de indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 9, n. 1, p. 35-46, 2018.

LABORDA, David. “NET ZERO BUILDINGS” –APLICAÇÃO DO CONCEITO A UM EDIFÍCIO EXISTENTE. 2015. Tese de Doutorado. ISPGAYA.

Li, X., Lin, A., Young, C. H., Dai, Y., & Wang, C. H. (2019). Energetic and economic evaluation of hybrid solar energy systems in a residential net-zero energy building. *Applied Energy*, 254, 113709.

LI, Yehong et al. An information sharing strategy based on linked data for net zero energy buildings and clusters. *Automation in Construction*, v. 124, p. 103592, 2021.

LIMA, M. A. et al. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Environmental Development*, v. 33, p. 100504, 2020.

LUNA, Márcia Andréa Rosas et al. Solar photovoltaic distributed generation in Brazil: the case of resolution 482/2012. *Energy Procedia*, v. 159, p. 484-490, 2019.

MAVRIGIANNAKI, A. et al. Examining the benefits and barriers for the implementation of net zero energy settlements. *Energy and Buildings*, v. 230, p. 110564, 2021.

MEDVED, Sašo; DOMJAN, Suzana; ARKAR, Ciril. Contribution of energy storage to the transition from net zero to zero energy buildings. **Energy and Buildings**, v. 236, p. 110751, 2021.

MENDES, Daniel Fernando de Queiróz Portela et al. O novo desafio dos NZEB (Nearly Zero Energy Buildings). 2018.

NASCIMENTO, Mauricio Andrade; TORRES, Ednildo Andrade. Avaliação Energética Do Ciclo De Vida: Estudo De Caso Aplicado A Construção Civil. **Scientia: Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, n. 1, p. 92-124, 2021.

NEMATCHOUA, Modeste Kameni; NISHIMWE, Antoinette Marie-Reine; REITER, Sigrid. Towards nearly zero-energy residential neighbourhoods in the European Union: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 135, p. 110198, 2021.

POTTING, Marcela Rodrigues. Princípios para desenvolvimento de comunidades sustentáveis. UFRJ, 2015.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 2016. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/10570-indc-contribuição-nacionalmentedeterminada>>. Acesso em: 18 abril de 2020.

REY-HERNÁNDEZ, JM; Velasco-Gómez, E.; San José-Alonso, JF; Tejero-González, A.; Rey-Martínez, FJ Análise de energia em um edifício de energia quase zero. Um estudo de caso na Espanha. *Energies* 2018, 11, 857.

RIBEIRO, Andersson Sousa; SILVEIRA, Pedro Nascimento. Proposta de sistema de cogeração para uma edificação nZEB da Universidade de Brasília. 2016.

SHANDIZ, Saeid Charani; RISMANCHI, Behzad; FOLIENSTE, Greg. Energy master planning for net-zero emission communities: State of the art and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 137, p. 110600, 2021.

SHAMIM, Jubair A. et al. A review of solid desiccant dehumidifiers: Current status and near-term development goals in the context of net zero energy buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 110456, 2020.

SHAHIN, Ahmed, SUMIYOSHI, Daisuke. (2018). Building energy simulation towards developing a guideline for NZEBs in Egypt. 10.13140/RG.2.2.20261.14569.

SARTORI, Igor; NAPOLITANO, Assunta; VOSS, Karsten. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and buildings*, v. 48, p. 220-232, 2012.

SEBRAE. Centro Sebrae de Sustentabilidade: técnicas construtivas sustentáveis. Cuiabá, MT: Sebrae, 2018. Disponível em <<http://sustentabilidade.sebrae.com.br/sites/Sustentabilidade/Acontece/Noticias/GBC-BRASIL-ZERO-ENERGY>> acesso em abril de 2021.

SHIN, Minjae et al. Evaluation of the energy performance of a net zero energy building in a hot and humid climate. *Energy and Buildings*, v. 204, p. 109531, 2019.

TSALIKIS, Georgios; MARTINOPOULOS, Georgios. Potencial de sistemas de energia solar para edifícios residenciais com energia quase nula. *Energia Solar*, v. 115, p. 743-756, 2015.

TORBEN, V. Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark. *Sol Energy*, 1977;19:195–9.

TEIXEIRA, Bruno Manuel Queirós. Análise técnico-económica de soluções construtivas para edifícios nZEB. 2021.

VEIGA, Ana Sofia Câmara. Metodologias para a classificação de edifícios de balanço de energia nulo (NZEB) aplicadas a um edifício residencial. 2015. Tese de Doutorado

VIANNA, Nelson Solano; GONÇALVES, Joana Carla Soares. Iluminação e arquitetura. São Paulo: Virtus s/c Ltda, 2001. p. 27.

TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES PARTE, ABNT Desempenho. 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social-NBR 15220-3. Rio de Janeiro: ABNT. NBR15220-3, 2005.

TORCELLINI, P., S. Pless, M. Deru. Edifícios com energia zero: um olhar crítico sobre a definição. Estudo de verão da ACEEE pacific grove, Califórnia (2006), pp. 1 – 12.

Tr.skopelitissa. Disponível em <https://tr.skopelitissa.com/cebri-hava-ve-egzoz-havalandirmasi-cihaz-calisma-prensibi?hcb=1>. Acesso em junho de 2021.

WU, W.; SKYE, H. M. Residential net-zero energy buildings: Review and perspective, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 142, 2021.

WU, W.; SKYE, H.M.; DOMANSKI, P.A. Seleção de sistemas HVAC para alcançar edifícios residenciais de energia líquida zero confortáveis e econômicos *Appl. Energia*, 212 (2018), pp. 577 – 591.

WILLS, Adam D.; BEAUSOLEIL-MORRISON, Ian; UGURSAL, V. Ismet. A modelling approach and a case study to answer the question: What does it take to retrofit a community to net-zero energy?. *Journal of Building Engineering*, v. 40, p. 102296, 2021.

ZHOU, Zhihua et al. O desempenho operacional do “edifício com energia zero líquida”: um estudo na China. *Energia aplicada*, v. 177, p. 716-728, 2016.

Zomer, C., Custódio, I., Goulart, S., Mantelli, S., Martins, G., Campos, R., ... & Rüther, R. (2020). Energy balance and performance assessment of PV systems installed at a positive-energy building (PEB) solar energy research centre. *Solar Energy*, 212, 258-274, 2020.

UCLA sustainability. Disponível em <<https://www.sustain.ucla.edu/leed-lab/>> . Acesso em junho de 2021.

ANEXOS

Anexo I – Histórico das análises econômicas.

Simulação realizada usando um sistema fotovoltaico hipotético, as estimas foram feitas com o uso do Microsoft Excel. A tabela mostra o impacto econômico na conta de energia em um cenário de 25 anos.

Ano	R. do sist.	Tarifa (R\$)	Conta s/ energia solar (R\$)	Conta c/ energia solar (R\$)	Economia anual (R\$)	Saldo anual (R\$)
1	100%	0,45	232.912,80	32.940,26	199.972,54	-752.234,73
2	99%	0,49	251.545,82	35.575,48	215.970,35	-536.264,38
3	99%	0,52	271.669,49	38.421,52	233.247,97	-303.016,41
4	98%	0,57	293.403,05	41.495,24	251.907,81	-51.108,60
5	97%	0,61	316.875,29	44.814,86	272.060,44	220.951,84
6	97%	0,66	342.225,32	48.400,04	293.825,27	514.777,11
7	96%	0,71	369.603,34	52.272,05	317.331,29	832.108,41
8	95%	0,77	399.171,61	56.453,81	342.717,80	1.174.826,20
9	94%	0,83	431.105,34	60.970,12	370.135,22	1.544.961,42
10	94%	0,90	465.593,76	65.847,73	399.746,04	1.944.707,46
11	93%	0,97	502.841,27	71.115,54	431.725,72	2.376.433,18
12	92%	1,05	543.068,57	76.804,79	466.263,78	2.842.696,96
13	92%	1,13	586.514,05	82.949,17	503.564,88	3.346.261,84
14	91%	1,22	633.435,18	89.585,11	543.850,07	3.890.111,92
15	90%	1,32	684.109,99	96.751,91	587.358,08	4.477.469,99
16	90%	1,43	738.838,79	104.492,07	634.346,72	5.111.816,72
17	89%	1,54	797.945,89	112.851,43	685.094,46	5.796.911,18
18	88%	1,67	861.781,57	121.879,55	739.902,02	6.536.813,20
19	87%	1,80	930.724,09	131.629,91	799.094,18	7.335.907,38
20	87%	1,94	1.005.182,02	142.160,30	863.021,71	8.198.929,09
21	86%	2,10	1.085.596,58	153.533,13	932.063,45	9.130.992,55
22	85%	2,27	1.172.444,31	165.815,78	1.006.628,53	10.137.621,07
23	85%	2,45	1.266.239,85	179.081,04	1.087.158,81	11.224.779,88
24	84%	2,64	1.367.539,04	193.407,52	1.174.131,52	12.398.911,40
25	83%	2,85	1.476.942,16	208.880,12	1.268.062,04	13.666.973,44

Anexo II-Tabela de parcelamento baseada no financiamento.

Essa tabela mostra os valores das parcelas do sistema fotovoltaico, para um período de quitação do financiamento de 70 meses.

Meses	Juros (R\$)	Amortização (R\$)	Parcela Juros (R\$)	(R\$)952.207,27
1	4.951,48	13.602,96	18.554,44	938.604,31
2	4.880,74	13.602,96	18.483,70	925.001,35
3	4.810,01	13.602,96	18.412,97	911.398,39
4	4.739,27	13.602,96	18.342,23	897.795,43
5	4.668,54	13.602,96	18.271,50	884.192,47
6	4.597,80	13.602,96	18.200,76	870.589,50
7	4.527,07	13.602,96	18.130,03	856.986,54
8	4.456,33	13.602,96	18.059,29	843.383,58
9	4.385,59	13.602,96	17.988,56	829.780,62
10	4.314,86	13.602,96	17.917,82	816.177,66
11	4.244,12	13.602,96	17.847,08	802.574,70
12	4.173,39	13.602,96	17.776,35	788.971,74
13	4.102,65	13.602,96	17.705,61	775.368,78
14	4.031,92	13.602,96	17.634,88	761.765,82
15	3.961,18	13.602,96	17.564,14	748.162,86
16	3.890,45	13.602,96	17.493,41	734.559,89
17	3.819,71	13.602,96	17.422,67	720.956,93
18	3.748,98	13.602,96	17.351,94	707.353,97
19	3.678,24	13.602,96	17.281,20	693.751,01
20	3.607,51	13.602,96	17.210,47	680.148,05
21	3.536,77	13.602,96	17.139,73	666.545,09
22	3.466,03	13.602,96	17.069,00	652.942,13
23	3.395,30	13.602,96	16.998,26	639.339,17
24	3.324,56	13.602,96	16.927,52	625.736,21
25	3.253,83	13.602,96	16.856,79	612.133,25
26	3.183,09	13.602,96	16.786,05	598.530,28
27	3.112,36	13.602,96	16.715,32	584.927,32
28	3.041,62	13.602,96	16.644,58	571.324,36
29	2.970,89	13.602,96	16.573,85	557.721,40
30	2.900,15	13.602,96	16.503,11	544.118,44
31	2.829,42	13.602,96	16.432,38	530.515,48
32	2.758,68	13.602,96	16.361,64	516.912,52
33	2.687,95	13.602,96	16.290,91	503.309,56
34	2.617,21	13.602,96	16.220,17	489.706,60
35	2.546,47	13.602,96	16.149,44	476.103,64
36	2.475,74	13.602,96	16.078,70	462.500,67
37	2.405,00	13.602,96	16.007,96	448.897,71

38	2.334,27	13.602,96	15.937,23	435.294,75
39	2.263,53	13.602,96	15.866,49	421.691,79
40	2.192,80	13.602,96	15.795,76	408.088,83
41	2.122,06	13.602,96	15.725,02	394.485,87
42	2.051,33	13.602,96	15.654,29	380.882,91
43	1.980,59	13.602,96	15.583,55	367.279,95
44	1.909,86	13.602,96	15.512,82	353.676,99
45	1.839,12	13.602,96	15.442,08	340.074,03
46	1.768,38	13.602,96	15.371,35	326.471,06
47	1.697,65	13.602,96	15.300,61	312.868,10
48	1.626,91	13.602,96	15.229,88	299.265,14
49	1.556,18	13.602,96	15.159,14	285.662,18
50	1.485,44	13.602,96	15.088,40	272.059,22
51	1.414,71	13.602,96	15.017,67	258.456,26
52	1.343,97	13.602,96	14.946,93	244.853,30
53	1.273,24	13.602,96	14.876,20	231.250,34
54	1.202,50	13.602,96	14.805,46	217.647,38
55	1.131,77	13.602,96	14.734,73	204.044,41
56	1.061,03	13.602,96	14.663,99	190.441,45
57	990,30	13.602,96	14.593,26	176.838,49
58	919,56	13.602,96	14.522,52	163.235,53
59	848,82	13.602,96	14.451,79	149.632,57
60	778,09	13.602,96	14.381,05	136.029,61
61	707,35	13.602,96	14.310,31	122.426,65
62	636,62	13.602,96	14.239,58	108.823,69
63	565,88	13.602,96	14.168,84	95.220,73
64	495,15	13.602,96	14.098,11	81.617,77
65	424,41	13.602,96	14.027,37	68.014,80
66	353,68	13.602,96	13.956,64	54.411,84
67	282,94	13.602,96	13.885,90	40.808,88
68	212,21	13.602,96	13.815,17	27.205,92
69	141,47	13.602,96	13.744,43	13.602,96
70	70,74	13.602,96	13.673,70	0,00