



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO
DE ENERGIA PARA OS MINISTÉRIOS E AVALIAÇÃO
DE SEU IMPACTO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**

Helena Coutinho Ruggieri Ribeiro

Brasília, fevereiro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO
DE ENERGIA PARA OS MINISTÉRIOS E AVALIAÇÃO
DE SEU IMPACTO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA**

Helena Coutinho Ruggieri Ribeiro

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheira Eletricista*

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo, ENE/UnB _____
Orientador

Prof. Dr. Ivan Marques de Toledo Camargo, _____
ENE/UnB
Examinador interno

Prof. Dr. Rafael Amaral Shayani, ENE/UnB _____
Examinador interno

Dedicatória

*Para todos que acreditam em mudanças,
na possibilidade do amanhã
e no poder do agora.*

Helena Coutinho Ruggieri Ribeiro

Agradecimentos

Meu caminho para me tornar Engenheira Eletricista não teria sido possível se passasse por tudo sozinha. O apoio e amizades que tive ao longo desta etapa da minha vida tornaram o processo mais leve e me ajudaram a acreditar que eu posso alcançar o que almejo. A UnB me trouxe referências para a vida, muito obrigada a todos por tudo!

Primeiro agradeço aos meus pais, Isabela e Hamilton, por sempre terem me dado a oportunidade de priorizar meus estudos e pelo apoio a todas as minhas escolhas. À minha irmã, Júlia, pela companhia, pelas brincadeiras e por me inspirar a levar uma vida leve. Ao meu namorado, Henrique, por ter acompanhado toda a minha jornada universitária, com todos os altos e baixos, e por sempre estar disponível para ajudar e para conversar, seu apoio e sua presença foram fundamentais para mim. O amor deles e de toda a família sempre me ajudaram a continuar.

Agradeço imensamente à ENETEC, por ter me proporcionado experiências tão enriquecedoras e únicas. Principalmente aos meus colegas e amigos da Diretoria de Projetos, que me fizeram crescer como engenheira, e às Diretorias Executivas que participei: PanDirex, One Direxion, DirEx da pi fai zer. Também a todos que trabalharam comigo na empresa, me ajudaram a me desenvolver como líder e como amiga, em especial: Guto, Seiki, Let, Vovô, Ferreira, Igor, Cadu, Leão, Carol.

Aos meus colegas de semestre e próximos, obrigada por enriquecerem minha vivência universitária. Em especial colegas que me ajudaram nos momentos mais difíceis: Vinícius, Trigueiro, Thiaguinho, Júlia, Rafaele, Leandro, Li, Gustavo, Naretto. À minha parceira de atividades curriculares e extracurriculares, Laurinha, foi uma pessoa essencial para a conclusão do meu curso, agradeço muito pelas experiências compartilhadas. Às minhas amizades de apoio, externas à UnB, também me apoiaram sempre e tornaram o caminho mais agradável, principalmente: Nina, Mari e Vale.

Agradeço também ao meu professor orientador, Fernando Cardoso Melo, pelo acompanhamento no desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso. Agradeço por ter aceitado a ideia trazida, pelo apoio e por todas as conversas, foi essencial para a finalização da minha graduação.

Por fim, agradeço à GIZ e ao MME por terem me proporcionado conhecer mais sobre o tema do trabalho. Em especial, aos colegas do SEF, por tantas dicas e pelo apoio.

Helena Coutinho Ruggieri Ribeiro

RESUMO

Este trabalho busca mostrar como a implementação de um Sistema Integrado de Gestão de Energia nos edifícios da Esplanada dos Ministérios em Brasília-DF pode contribuir para a Transição Energética no Brasil. Sendo uma parte do caminho para a obtenção da certificação internacional ISO 50001, "Norma de sistemas de gestão de energia - requisitos com orientação para uso", o Sistema Integrado de Gestão de Energia (SIGE) foi implantado inicialmente no edifício U, sede dos ministérios de Minas e Energia e do Turismo, e mostrou que é possível reduzir o consumo de energia elétrica por meio da implementação de ações de eficiência energética (EE). Usando o ciclo PDCA (*Plan* - Planejar, *Do* - Desenvolver, *Check* - Verificar, *Act* - Atuar), esse sistema utiliza um processo de melhoria contínua que traz como benefícios, além da redução de consumo, troca de equipamentos antigos para equipamentos mais eficientes, atualização de lâmpadas antigas para LED, mapeamento da rotina de uso de equipamentos com maior participação no consumo total, conscientização dos colaboradores do edifício em temas energéticos. Além das medidas de EE implementadas pelo SIGE, o trabalho também buscou uma ação com fontes renováveis por meio do planejamento da implementação de sistemas fotovoltaicos (SFVs) nos telhados dos ministérios para que o consumo seja compensado com uma geração limpa de energia, aproveitando o espaço útil disponível. Com essas ações, foi possível prever qual é o potencial valor do consumo que pode ser evitado nos 17 edifícios da Esplanada dos Ministérios, e esse valor em quilo-watt-hora (kWh), medida de consumo energético, foi convertido para toneladas de carbono equivalente (tCO_{2e}), medida de toneladas de carbono e outros gases de efeito estufa (GEEs) em uma proporção equivalente. A geração de energia elétrica emite GEEs, mesmo quando a geração é limpa (ou por pequenas fontes de emissão, ou pela fabricação dos materiais usados nas usinas de geração elétrica), e por isso a conversão foi válida. A conversão de kWh para tCO_{2e} levou em conta parâmetros da geração energética brasileira, e o trabalho mostra que as implementações de EE e os SFVs podem reduzir cerca de 25% do consumo elétrico atual. Logo, o resultado confirma que a implementação do SIGE é um bom caminho para contribuição com a transição Energética Brasileira, principalmente em edifícios públicos que são referência nacional.

Palavras-chave: Eficiência Energética, ISO 50001, Esplanada dos Ministérios, Fontes Renováveis, Sistema Fotovoltaico, Redução de Emissões de Carbono, Transição Energética, Sistema de Gestão de Energia.

ABSTRACT

This work aims to show how the implementation of an Integrated Energy Management System in the buildings of the Esplanade of Ministries in Brasília-DF can contribute to the Energy Transition in Brazil. As part of the path to obtain the international certification ISO 50001, "Energy management systems - requirements with guidance for use", the Integrated Energy Management System (SIGE) was initially implanted in building U, the headquarters of the Ministries of Mines and Energy and Tourism, and showed that it is possible to reduce electricity consumption through the implementation of energy efficiency (EE) actions. Using the PDCA cycle (Plan, Do, Check, Act), this system uses a continuous improvement process that brings benefits, in addition to energy reduction, such as the replacement of old equipment with more efficient equipment, updating old lamps to LED, mapping the routine use of equipment with higher participation in total consumption, raising awareness of building employees on energy issues. In addition to the EE measures implemented by SIGE, the work also sought an action with renewable sources through the planning of the implementation of photovoltaic systems (SFVs) on the roofs of the ministries so that consumption is offset with clean energy generation, taking advantage of the available usable space. With these actions, it was possible to predict the potential value of consumption that can be avoided in the 17 buildings of the Ministerial Esplanade, and this value in kilowatt-hours (kWh), a measure of energy consumption, was converted to tons of carbon equivalent (tCO_{2e}), a measure of tons of carbon and other greenhouse gases (GHGs) in an equivalent proportion. The generation of electricity emits GHGs, even when generation is clean (or from small emission sources, or from the manufacture of materials used in power plants), so the conversion was valid. The conversion from kWh to tCO_{2e} took into account parameters of Brazilian energy generation, and the work shows that EE and SFV implementations can reduce about 25% of current electricity consumption. Therefore, the results confirms that the implementation of SIGE is a good path for contributing to the Brazilian Energy Transition, especially in public buildings that are a national reference.

Keywords: Energy Efficiency, ISO 50001, Esplanada dos Ministérios, Renewable Energies, Photovoltaic System, Carbon Emission Reduction, Energy Transition, Energy Management System.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	MOTIVAÇÃO	3
1.3	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	6
1.4	OBJETIVOS DO TRABALHO	8
1.4.1	OBJETIVO GERAL	8
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1	O MUNDO E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	10
2.2	A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	14
2.3	ISO 50001/2011	16
2.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1	FLUXOGRAMA DO TRABALHO	19
3.2	PERFIL DE CONSUMO ENERGÉTICO	21
3.3	MEDIDAS DE EE	24
3.4	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	28
3.5	IMPACTO NA TRANSIÇÃO	32
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	32
4	RESULTADOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS DO ESTUDO DE CASO	33
4.1	PERFIL DE CONSUMO ENERGÉTICO E MEDIDAS DE EE	33
4.1.1	EVOLUÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO MME-MTUR	33
4.1.2	PREVISÃO PARA DEMAIS EDIFÍCIOS	34
4.2	MODELAGEM DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	35
4.2.1	"MELHOR CASO" DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EDIFÍCIOS DE MINISTÉRIOS	36
4.2.2	"PIOR CASO" DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EDIFÍCIOS DE MINISTÉRIOS	41
4.3	REDUÇÃO DO CONSUMO: SIGE COM SFVs	44
4.4	IMPACTO NA TRANSIÇÃO: EMISSÕES	44

4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	46
5	CONCLUSÕES	47
5.1	CONCLUSÕES GERAIS	47
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	ANEXOS	54
I	ANEXO I	55

LISTA DE FIGURAS

1.1	Emissões de CO ₂ por uso da terra e combustíveis fósseis de 1750 a 2021	2
1.2	Esquemático com objetivo e indicadores da fase III do projeto SEF	3
1.3	Placa da certificação ABNT NBR ISO 50001 no edifício U da Esplanada dos Ministérios	5
1.4	Edifícios dos Ministérios nomeados com letras dos Blocos	7
2.1	Emissões de CO ₂ por combustíveis fósseis de 1750 a 2021	11
2.2	Emissões de CO ₂ por pessoa em 2021	12
2.3	Cúpula do Milênio e os ODMs	13
2.4	Linha do tempo com definição mundial de objetivos para o desenvolvimento sustentável	15
2.5	Custos totais médios ponderados globais instalados, fatores de capacidade e LCOE de recém-comissionados PV solar em escala de utilidade pública, energia eólica onshore e offshore, 2010-2021	16
2.6	O ciclo PDCA e o SGE/SIGE	17
2.7	Redução do custo de investimento na ISO 50001	18
3.1	Fluxograma do Trabalho	20
3.2	Placa do Sistema Fotovoltaico do Edifício U - MME-MTur - Doadores de componentes do sistema	29
3.3	Placa do Sistema Fotovoltaico do Edifício U - MME-MTur - Informações gerais	30
3.4	Módulos fotovoltaicos no MME-MTur	31
4.1	Laje do bloco A da Esplanada dos ministérios	36
4.2	Especificação do módulo escolhido - Trina Solar TSM-510DE18M.08(II)	37
4.3	Especificação do inversor escolhido - CSI Solar Co - Ltd CSI-100K-T480GL02-U [480V]	38
4.4	Geração FV mensal no melhor caso	39
4.5	Compensação da geração no consumo médio do grupo do melhor caso de laje	40
4.6	Compensação da geração do melhor caso no edifício A, que possui o menor consumo	40
4.7	Laje do bloco B da Esplanada dos Ministérios	41
4.8	Especificação do inversor escolhido - CSI Solar Co - Ltd CSI-25K-T480GL01-UB [480V]	42
4.9	Geração FV mensal no pior caso	43
4.10	Compensação da geração no consumo médio do grupo do pior caso de laje	43

LISTA DE TABELAS

1.1	Nomes dos Ministérios, siglas e letras dos edifícios	6
3.1	Consumo elétrico dos edifícios A, D, E, F.....	22
3.2	Consumo elétrico dos edifícios G, J, L	22
3.3	Consumo elétrico dos edifícios U1, U2 e R.....	23
3.4	Histórico energético e econômico 2018 a 2022	24
3.5	Legenda de prazo de ações para ações de EE	25
3.6	Medidas de EE - Ações de Climatização conforme Tabela 8 do SGE 004.....	25
3.7	Medidas de EE - Ações do Data Center conforme Tabela 8 do SGE 004	26
3.8	Medidas de EE - Ações de Iluminação conforme Tabela 8 do SGE 004	26
3.9	Medidas de EE - Ações de Elevadores conforme Tabela 8 do SGE 004.....	26
3.10	Medidas de EE - Ações de Bombeamento conforme Tabela 8 do SGE 004	27
3.11	Medidas de EE - Ações de Cargas em Geral conforme Tabela 8 do SGE 004.....	27
3.12	Medidas de EE - Ações de caráter geral conforme Tabela 8 do SGE 004	27
3.13	Geração fotovoltaica no edifício U.....	31
4.1	Parâmetros no MME-MTur	34
4.2	Legenda para Tabela 4.3.....	35
4.3	Previsão da redução do consumo para demais edifícios	35
4.4	Especificações técnicas do módulo - Trina Solar TSM-510DE18M.08(II)	37
4.5	Especificações técnicas do inversor - CSI Solar Co - Ltd CSI-100K-T480GL02-U [480V]	38
4.6	Especificações técnicas do inversor - CSI Solar Co - Ltd CSI-25K-T480GL01-UB [480V].....	42
4.7	Previsão da redução com o SIGE e com os SFVs.....	44
4.8	Previsão da redução das emissões de carbono	45
4.9	Previsão da redução das emissões de carbono	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
COP	<i>Conference of the Parties</i>
EE	Eficiência Energética
FRE	Fonte Renovável de Energia
GEE	Gases de efeito estufa
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i>
IDE	Índice de Desempenho Energético
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISO 50001	Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso
kWh	Quilo-watt-hora
kWp	Quilo-watt-pico
LBE	Linha de Base Energética
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MC	Ministério da Cidadania
MCom	Ministério das Comunicações
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MD	Ministério da Defesa
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
ME	Ministério da Economia
MEC	Ministério da Educação
MI	Ministério da Infraestrutura
MJSP	Ministério da Justiça e Segurança Pública
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MMFDH	Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos
MRE	Ministério das Relações Exteriores
MS	Ministério da Saúde

MTP	Ministério do Trabalho e Previdência
MTur	Ministério do Turismo
NBR	Norma Brasileira
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PDCA	<i>Plan</i> - Planejar, <i>Do</i> - Desenvolver, <i>Check</i> - Verificar, <i>Act</i> - Atuar
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Procobre	Instituto Brasileiro do Cobre
SAM	<i>System Advisor Model</i>
SEF	Sistemas de Energia do Futuro
SFV	Sistema Fotovoltaico
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SIGE	Sistema Integrado de Gestão de Energia
SIN	Sistema Interligado Nacional
tCO₂e	Tonelada de carbono equivalente
THS-AS	Tarifa Horo-sazonal do Grupo A com distribuição Subterrânea
TI	Tecnologia da informação
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
USE	Uso Significativo de Energia

Capítulo 1

Introdução

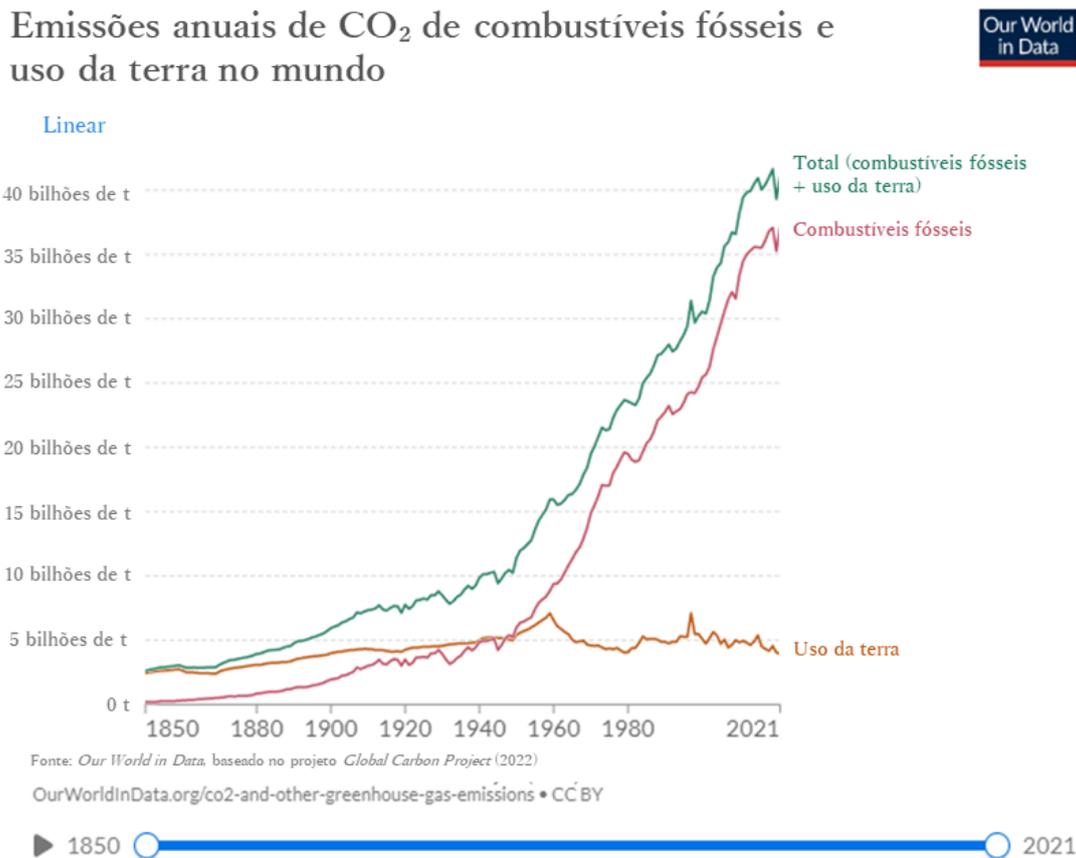
Neste capítulo será apresentada a motivação para o objeto deste trabalho, bem como seus objetivos principais e específicos, introduzindo o tema e o desenvolvimento da análise.

1.1 Contextualização

Após a Revolução Industrial, o planeta Terra começou a sofrer algumas consequências do aquecimento global, tais como eventos climáticos extremos, o derretimento de geleiras, processo intenso de desertificação, alterações de biomas, entre outros. A partir disso começou uma preocupação comum mundial relacionada às emissões de carbono e de gases de efeito estufa (GEEs). Em 1988 ocorreu a 1ª Conferência Climatológica Mundial, em Toronto no Canadá, para tratar dos efeitos de GEEs, na ocasião foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (a sigla do painel é em inglês, para *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC). Em sua própria definição em [1], está escrito que "O IPCC foi criado para fornecer aos formuladores de políticas avaliações científicas regulares sobre as mudanças climáticas, suas implicações e potenciais riscos futuros, bem como para propor opções de adaptação e mitigação.". Na década de 1990, como mostra a Figura 1.1, do site *Our World in Data* [2], as emissões aumentaram rapidamente, e a conscientização sobre o tema ficou mais presente entre os países como um problema emergente que poderia desencadear cenários irreversíveis. Surgiu, então, a necessidade de combater as mudanças climáticas, e a Organização das Nações Unidas (ONU) criou o grupo de avaliação das mudanças climáticas em 1994: a Conferência das Partes (a sigla é em inglês, para *Conference of the Parties* - COP). Esse grupo se reúne anualmente com o objetivo de avaliar esse contexto, e se mostrou muito importante ao abrir o caminho para ações de mitigação da redução das emissões de carbono.

Em 1997 foi firmado o Protocolo de Kyoto, primeiro acordo internacional para regulação e controle das emissões de GEE. Ele trouxe metas de redução de emissões para cada país, e foi o caminho inicial para implementação de ações de mitigação das emissões no mundo. Com ele também começou o conceito de que uma quantidade de gases emitidos poderia ser usada como moeda de troca para alcançar as metas dos acordos internacionais, estimulando a ideia de que se o problema é mundial, ele pode ser resolvido mundialmente, compensando as emissões ao longo de todo o planeta.

Figura 1.1: Emissões de CO₂ por uso da terra e combustíveis fósseis de 1750 a 2021



Fonte: *Our World In Data* [2]

Outros acordos, iniciativas e cooperações surgiram nos anos seguintes, e como mostra o artigo [3], eles instigaram uma reconfiguração da arquitetura do regime climático. Ao mesmo tempo que isso é importante para que haja ações de mitigação, ocorre a tentativa de justificar emissões de países e de grupos de países.

O que é certo é que ações precisam ser realizadas, pois o que as emissões de GEE têm potencial de destruir e alterar pode não conseguir ser retomado. Nesse contexto, traz-se o conceito de Transição Energética, que segundo a *Enel Green Power S.p.A.*, uma empresa do Grupo Enel de atuação no desenvolvimento e na gestão da produção de energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis, em [4], é o processo de "passagem de uma matriz energética focada nos combustíveis fósseis para uma com baixa ou zero emissões de carbono, baseada em fontes renováveis". Esse processo é essencial para a diminuição das mudanças climáticas, e possui formas diferentes de abordagem. De forma objetiva, é a redução do uso de combustíveis não renováveis no consumo de energia por meio de uma transformação na forma do uso de energia.

Este trabalho buscará avaliar um caminho de contribuição para a Transição Energética com a descarbonização, e entende-se que isso pode ser feito por meio do consumo eficiente de energia elétrica e da compensação do consumo por uma Fonte Renovável de Energia (FRE). Uma vez que a geração de energia utiliza processos que emitem carbono, mesmo com fontes renováveis, ainda que

pouco, a redução do consumo energético de forma eficiente pode contribuir para a descarbonização. Mas é importante que a redução do consumo seja alcançada de uma forma planejada, pois de nada adianta conquistar essa redução a qualquer preço. Ela precisa ser duradoura. E se há o potencial de geração renovável, isso também contribui para a Transição .

1.2 Motivação

O projeto Sistemas de Energia do Futuro (SEF) faz parte da cooperação técnica Brasil-Alemanha, realizada pela empresa GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*), que busca alcançar o desenvolvimento sustentável por meio de ações de Eficiência Energética (EE) e fontes renováveis de energia (FREs), contribuindo assim para a Transição Energética no Brasil, como é explicado em [5]. Atualmente, está na fase III e conta com diversas medidas para essa contribuição, como mostra a Figura 1.2.

Figura 1.2: Esquemático com objetivo e indicadores da fase III do projeto SEF



Fonte: MME/SEF [6]

Uma das ações deste projeto foi feita no edifício do parceiro político Ministério de Minas e Energia (MME), no Bloco U da Esplanada dos Ministérios, onde também está o Ministério do Turismo (MTur). Os dois ocupantes do edifício assinaram um acordo para implementar um Sistema de Gestão de Energia (SGE), como mostra o Acordo de Cooperação Técnica de 08/02/2021, acessível em [7], a fim de proporcionar a Eficiência Energética (EE) do edifício e futuramente obter uma certificação de monitoramento energético. Os resultados dessa implementação foram positivos,

trazendo redução no consumo energético e conscientização para os colaboradores que frequentavam o local. E, em julho de 2022, o MME-MTur conseguiu obter a certificação ISO 50001 de gestão de energia, e é o primeiro órgão público a possuir a certificação. A notícia em [8] aborda a obtenção da certificação, e a Figura 1.3 está no edifício U da Esplanada, mostrando que o prédio obteve a certificação.

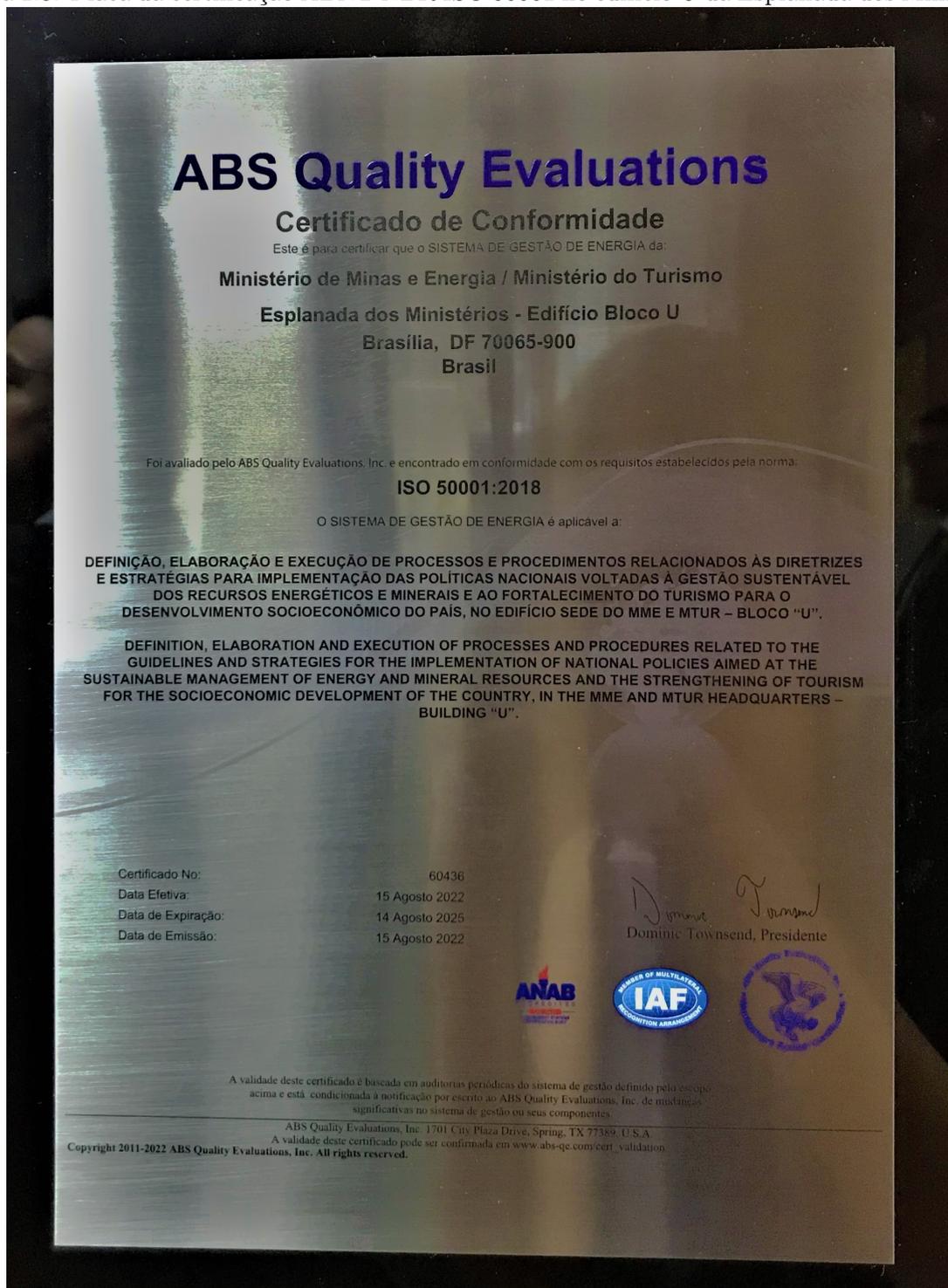
No Brasil, a norma foi traduzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também validada pela Norma Brasileira (NBR), e pode ser referenciada como ABNT NBR ISO 50001 - Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso. O artigo [9], evidencia como esta norma traz benefícios relacionados tanto a impactos ambientais quanto a melhorias organizacionais das instituições e de seu desempenho energético. Agindo desde a etapa de planejamento até monitoramento e redução no consumo. Esta certificação é importante pois ao implementá-la ela viabiliza a redução do consumo energético por meio de medidas de implementação de EE nos edifícios.

Além da certificação internacional, o edifício também possui um Sistema Fotovoltaico (SFV) que foi inaugurado em 2016 que contribui para a Transição por meio da compensação do consumo por meio de uma FRE. Ele foi construído com doações de materiais de diversas empresas fotovoltaicas por meio da Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR). Mesmo não contribuindo significativamente para abatimento do consumo, também é uma forma válida de contribuição para redução energética e contribui para a Transição .

A redução do consumo energético está relacionada a Transição Energética porque pode ser mensurável no quesito de redução de emissão de carbono pela redução do consumo de energia elétrica, como foi explicado no subtópico 1.1. Os documentos do relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) mostram como a redução das emissões é uma necessidade para evitar catástrofes, como é possível ver em [1]. Tendo órgãos públicos como referência para outros órgãos, empresas e instituições em todo o Brasil, a implementação de um Sistema Integrado de Gestão de Energia (SIGE) para posterior obtenção da certificação pode ser escalada para outros edifícios, propondo ações de EE e avaliando a redução de emissões de GEEs que são gerados para atender o consumo, assim como a implementação de SFVs.

Por fim, é interessante que o sistema seja integrado, diferente de como foi no MME-MTur, para que as organizações possam contribuir entre si e acelerar a obtenção de resultados, sem que haja perda do objetivo da redução do consumo energético. Nas etapas do PDCA (*Plan* - Planejar, *Do* - Desenvolver, *Check* - Verificar, *Act* - Atuar), de acordo com a ISO 50001, ter uma organização integrada que proporciona metas desafiadoras e possíveis para os edifícios pode melhorar o seu desempenho. Além da gestão de energia, outra implementação importante é a de compensação de energia através de novos SFVs, com materiais mais modernos e mais eficientes usando o espaço disponível. Usando como base o SGE do MME-MTur, a implementação de um SIGE pode ser feita para os outros edifícios de ministérios. Logo, é relevante uma análise de viabilidade técnica visando a implementação do SIGE e dos SFVs para os Ministérios, seguida por uma avaliação do quanto será economizado com o consumo evitado devido a essa implementação e a avaliação de seu impacto para a Transição por meio da conversão entre consumo elétrico e emissões de carbono.

Figura 1.3: Placa da certificação ABNT NBR ISO 50001 no edifício U da Esplanada dos Ministérios



Fonte: Foto tirada na visita técnica ao MME-MTur

Este será o objeto deste trabalho.

1.3 Identificação do problema

A Esplanada possui 17 edifícios de ministérios (blocos A, B, C, D, E, F, G, J, K, L, M, N, O, P, Q, U, R) e nove edifícios anexos. Como o escopo deste trabalho aborda apenas os edifícios principais, os edifícios anexos não serão identificados com detalhes. Uma observação é que há um projeto feito para implementação de Sistemas Fotovoltaicos nos edifícios anexos aos ministérios que se chama Esplanada Eficiente, e deve entrar em vigor nos próximos anos. Este projeto está no Anexo I. Em 2022, a distribuição de edifícios sede e nomes dos ministérios está representada na tabela 1.1.

Tabela 1.1: Nomes dos Ministérios, siglas e letras dos edifícios

Nome	Sigla	Bloco
Ministério da Cidadania	MC	A
Ministério da Mulher, da Família e dos Direitos Humanos	MMFDH	A
Ministério do Meio Ambiente	MMA	B
Ministério da Economia	ME	C
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	MAPA	D
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações	MCTI	E
Ministério do Desenvolvimento Regional	MDR	E
Ministério do Trabalho e Previdência	MTP	F
Ministério da Saúde	MS	G
Ministério das Relações Exteriores	MRE	H
Ministério da Economia	ME	J
Ministério da Economia	ME	K
Ministério da Educação	MEC	L
Ministério da Defesa - Força Aérea Brasileira	MD	M
Ministério da Defesa - Marinha do Brasil	MD	N
Ministério da Defesa - Exército Brasileiro	MD	O
Ministério da Economia	ME	P
Ministério da Defesa	MD	Q
Ministério das Comunicações	MCom	R
Ministério da Infraestrutura	MI	R
Ministério da Justiça e Segurança Pública	MJSP	T
Ministério de Minas e Energia	MME	U
Ministério do Turismo	MTur	U

Como em todo o governo há a criação e a dissolução de alguns ministérios, para este trabalho os ministérios serão referenciados apenas com as letras que nomeiam os blocos, com exceção do Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério do Turismo (MTur), pois eles são a referência de implementação do Sistema de Gestão de Energia (SGE) inicial para a certificação da ABNT

NBR ISO 50001 e serão citados outras vezes. A Figura 1.4 mostra a distribuição dos edifícios ao longo da Esplanada dos Ministérios com as respectivas indicações de letras para cada edifício. A foto foi obtida por meio das imagens satélite do *Google Maps* [®].

Figura 1.4: Edifícios dos Ministérios nomeados com letras dos Blocos



Fonte: *Google Maps* [®] [10]

Estes prédios públicos, com exceção do MME-MTur, ainda não possuem sistemas de gestão de energia nem ações específicas para melhorar seu desempenho energético. Há apenas o Decreto 10.779 de 25 de agosto de 2021, que pode ser acessado em [11], que estabelece algumas medidas para a redução de 10 a 20% do consumo de energia elétrica. A notícia acessível em [12] mostra os resultados obtidos pelo Decreto. É importante ressaltar que uma medida que reduz o consumo não necessariamente é uma aplicação de eficiência energética. Por exemplo: limitar o horário de uso de um ar-condicionado antigo sem a etiqueta de selo Procel e fazer a troca para um equipamento de ar-condicionado com a maior eficiência do selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) podem gerar a mesma redução percentual do consumo energético, mas a primeira medida não é uma medida de eficiência energética, apenas reduz o consumo.

O diferencial da implementação de um SIGE é justamente a etapa da melhoria contínua, não

apenas uma ação específica que reduz o consumo pontualmente. O escopo desta pesquisa não é exclusivamente fornecer assistência para a redução do consumo de energia elétrica sem restrições, mas sim fazê-la de uma forma eficiente, sem comprometer o sistema elétrico. A melhoria contínua é uma das etapas mais importantes do SIGE, uma vez que não centraliza os esforços apenas nos resultados desejados, mas também no desenvolvimento da aprendizagem das instituições para o planejamento e execução de estratégias que são benéficas em diversos aspectos, assim como explicado no artigo [13] sobre a importância da metodologia no processo de redução do consumo.

Por isso, objetivando agregar impacto para a Transição Energética no Brasil, é importante que esses edifícios desenvolvam ações de eficiência energética por meio da metodologia proposta na ISO 50001, e dessa forma eles possam ser referência para todo o Brasil. Como essa implementação de um Sistema Integrado de Gestão de Energia pode precisar envolver um grande investimento econômico, e como sua realização pode ser feita de formas distintas, este trabalho será uma análise técnica e econômica para mostrar como pode ser essa abordagem da implementação de um SGE integrado para contribuir para a Transição por meio da redução de emissão de carbono atrelada à redução do consumo de energia de forma eficiente.

1.4 Objetivos do trabalho

1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar o impacto para a Transição Energética da implementação de um Sistema Integrado de Gestão de Energia (SIGE) e de Sistemas Fotovoltaicos (SFVs) nos edifícios de ministérios na Esplanada.

1.4.2 Objetivos específicos

Além do objetivo geral, apresentam-se os objetivos específicos:

- Mostrar como a implementação de medidas de eficiência energética é um investimento que traz economia de recursos financeiros, de consumo de energia elétrica e de emissões de carbono;
- Mostrar como um Sistema de Gestão de Energia pode otimizar a implementação de Eficiência Energética (EE);
- Mostrar como geração de energia limpa tem o potencial de compensar o consumo elétrico;
- Mostrar uma forma de como instituições públicas podem contribuir para a Transição Energética do Brasil;
- Prever possíveis resultados da implementação do SIGE entre os ministérios mostrando a redução do consumo elétrico e sua conversão para emissões de GEE evitadas.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho envolve diversas análises, e no capítulo 5, haverá um subtópico com sugestões para trabalhos futuros. Para o atingimento dos objetivos gerais e específicos citados em 1.4.1 e 1.4.2, será estruturado da seguinte forma:

2. Revisão Bibliográfica: aprofundamento de temas que serão abordados no trabalho que foram citados neste capítulo de introdução para um melhor entendimento da sua importância e de como a escolha do seu seguimento pode contribuir para a Transição ;

3. Materiais e Métodos: apresentação do fluxograma com indicações de dados de entrada, desenvolvimento e saídas, bem como a descrição da metodologia para análise do trabalho;

4. Resultados Teóricos e Experimentais do Estudo de Caso: avaliação dos resultados com a aplicação dos materiais e métodos.

5. Conclusões: considerações gerais de conclusão sobre os resultados.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo aprofunda os temas que foram abordados na contextualização do trabalho.

2.1 O mundo e as mudanças climáticas

Antes de ocorrer a preocupação mundial com os efeitos de emissões de gases como o dióxido de carbono equivalente (CO_2e), acreditava-se que os recursos naturais do planeta eram infinitos, e o uso da terra e dos recursos ocorria de modo desenfreado, sem uma grande regulação e monitoramento dos impactos disso. Mas hoje sabe-se que o principal fator que tem gerado impactos ambientais e o aquecimento global é o crescimento das emissões de carbono e de gases de efeito estufa (GEEs).

Depois do início da Revolução Industrial, o índice de emissões mundial aumentou bastante, sendo que na década de 1990 ele quase quadruplicou, como é possível observar na Figura 2.1, como foi comentado no tópico 1.1. Esses dados de emissões podem ser acessados no site *Our World In Data* [2]. O aumento drástico das emissões que aconteceu no final do século XX evidenciou os efeitos associados, como a percepção de poluição, eventos naturais extremos, mudanças breves no clima. Isso aumentou os debates sobre identificação de emissões, seus impactos no meio ambiente, previsão das consequências, ações de mitigação, entre outros, para melhor entendimento do que poderia acontecer e como é possível evitar catástrofes.

Uma das dificuldades para resolver a questão das emissões para evitar catástrofes ambientais é a de formular o problema e definir referências para análise. Os problemas desencadeados por emissões de carbono são complexos, e envolvem vários setores, como: urbano, industrial, agropecuário, de transporte. Há mais de uma forma de referência para analisar as emissões de carbono, como por exemplo a emissão de GEE por pessoa, o que varia normalmente de país para país de acordo com o perfil de consumo de cada cidadão. Isso pode ter influência da economia do país, da disponibilidade de recursos, das condições climáticas, entre outros. A Figura 2.2 também do site [2] mostra essa referência.

Outra grande dificuldade relacionada às mudanças climáticas é que as condições políticas possuem uma influência direta no rumo que se pode tomar. Pessoas tomadoras de decisões de grande importância possuem também como prioridades as questões políticas, então algumas ações de

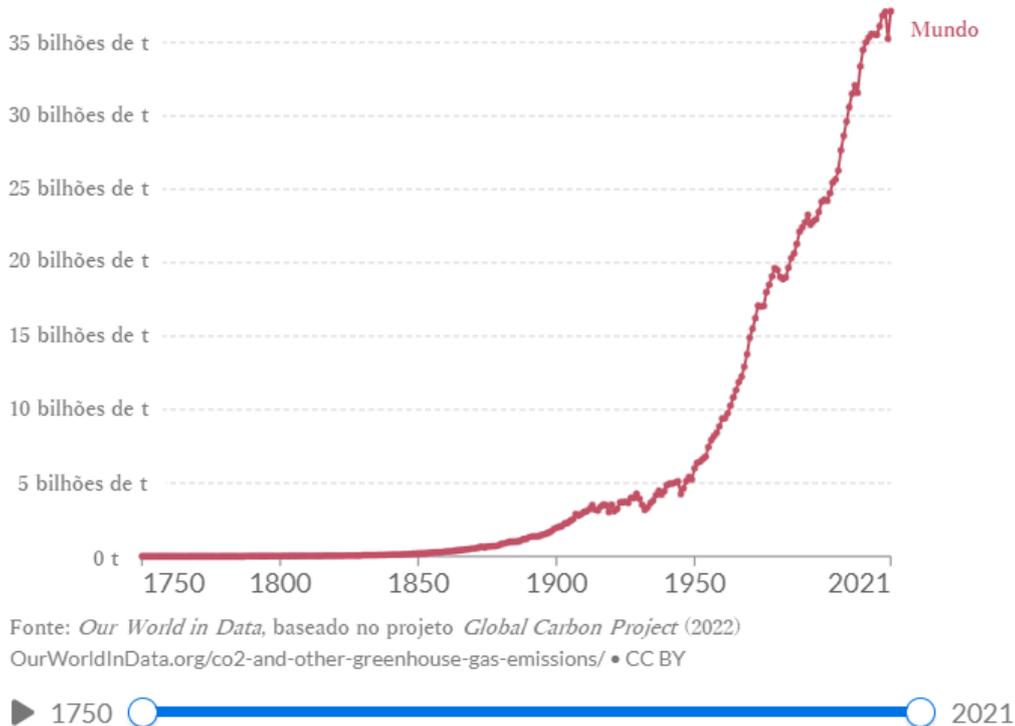
Figura 2.1: Emissões de CO₂ por combustíveis fósseis de 1750 a 2021

Emissões anuais de CO₂

Our World
in Data

Emissões de dióxido de carbono (CO₂) de combustíveis fósseis e da indústria.
A mudança de uso da terra não foi incluída.

Linear



Fonte: *Our World In Data* [2]

mitigação e formação de políticas para a sustentabilidade podem ser gravemente afetadas em momentos de grandes instabilidades políticas. O artigo "A Controvérsia das Mudanças Climáticas e do Aquecimento Global Antropogênico: Consenso Científico ou Interesse Político?" [14] apresenta esse argumento, que é relevante para o trabalho por se tratar de uma implementação em edifícios públicos de instituições governamentais para impacto positivo na Transição Energética.

Um dos primeiros marcos da conscientização do problema do uso desenfreado de recursos naturais foi a Declaração da Conferência da ONU no Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972. O que foi diferencial nesta declaração foi a parte que ela menciona que o homem tem direito a desfrutar dos recursos da Terra para melhoria de vida contanto que ele proteja e melhore o meio ambiente para futuras gerações. A declaração completa pode ser acessada em [15]. Esse foi um conceito inicial de desenvolvimento sustentável, que segundo a organização sem fins lucrativos WWF [16] pode ser definido como "o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações".

Como foi citado em 1.1, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado em seguida em 1990 para fazer levantamentos de dados, pesquisas e análises de efeitos do

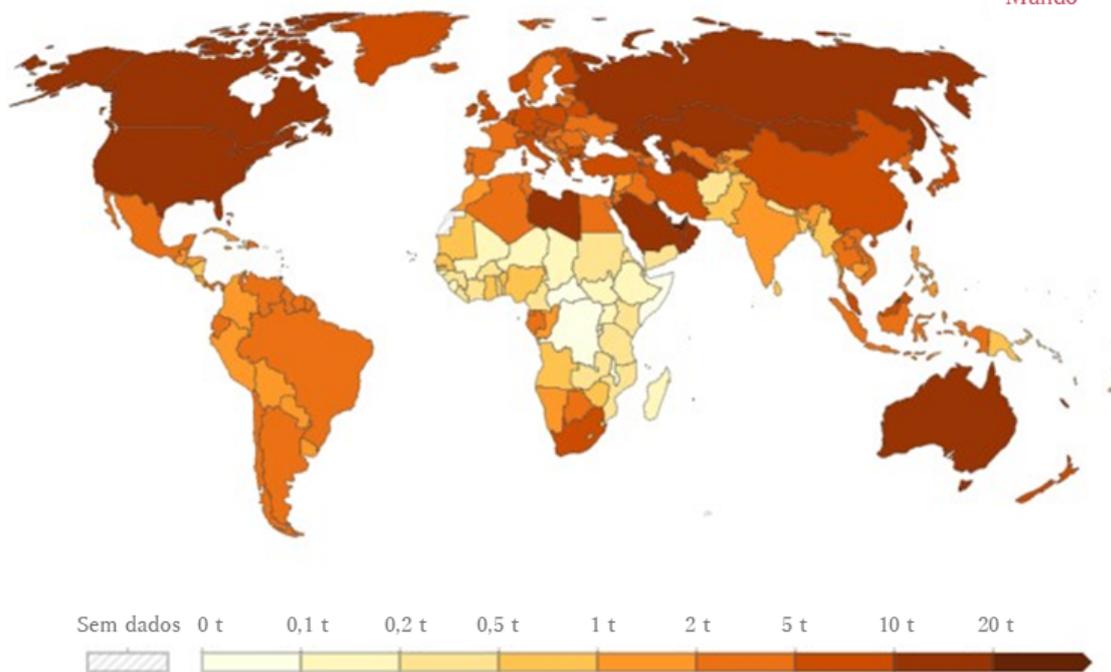
Figura 2.2: Emissões de CO₂ por pessoa em 2021

Emissões de CO₂ per capita em 2021

Emissões de dióxido de carbono (CO₂) de combustíveis fósseis e da indústria. O uso da terra não foi incluída.

Our World
in Data

Mundo



Fonte: *Our World in Data*, baseado no projeto *Global Carbon Project (2022)*
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Fonte: *Our World In Data* [2]

que foi levantado em cada setor, e propor soluções para os problemas identificados. O relatório do IPCC de 2022 [17] conta com 18 capítulos que detalham profundamente os impactos, a adaptação e a vulnerabilidade relacionadas às mudanças climáticas. Este painel é muito importante para definir ações de mitigação pois ele traz dados e análises científicas do mundo como um todo.

Depois, em 1992, ocorreu a ECO-92 ou Rio-92, a conferência que começou a propor ações para diversos países relacionadas a mudanças climáticas. Com um cenário político favorável para esse tipo de discussão após o fim da Guerra Fria, em 26 de dezembro de 1991, essa conferência teve um resultado de extrema importância mundial, que foi a Agenda 21 (o 21 é relacionado ao século XXI), um documento com objetivos comuns a todos os países do mundo. Foi a primeira vez que houve uma ação desse nível relacionada às mudanças climáticas e ao desenvolvimento sustentável. Com metas adaptadas a cada país, mas objetivando indicadores que contribuem para o bem do planeta. Junto com essa conferência, foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (a sigla é em inglês, para *United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC), que possui o objetivo de estabilizar as emissões de GEE a um nível que não comprometa o sistema climático.

Em seguida foi criada a Conferência das Partes (COP) pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 1994, que começou a se reunir em 1995 e todos os anos seguintes, sempre por cerca

de duas semanas, para uma avaliação periódica das condições climáticas do mundo. A criação das COPs foi importante para que todos os anos, as questões ambientais fossem abordadas com líderes políticos. Sendo realizada até hoje, elas contam com líderes de vários países e atores da sociedade civil para elaborar formas de desacelerar as mudanças climáticas e amenizar os impactos já sentidos, como foi citado na notícia sobre como foi a COP27 [18].

O evento relevante que aconteceu em seguida à criação das COPs foi o Protocolo de Kyoto, que ocorreu em 1997, durante a COP 3, o primeiro acordo internacional com um foco em emissões de carbono, mais especificamente. Inicialmente com duração de 2008 a 2013, e depois estendido para 2020, ele se diferencia da Agenda 21 por estabelecer metas de regulação das emissões de GEE, enquanto a Agenda 21 tratava de temas mais gerais para o alcance do desenvolvimento sustentável.

A partir deste protocolo, houveram mais ações voltadas tanto para as mudanças climáticas quanto para o desenvolvimento sustentável, que as abarca. O evento de grande relevância que aconteceu depois foi a Cúpula do Milênio, em 2000, na qual foram discutidos os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODMs), em uma agenda que deveria ter as metas alcançadas até 2015. Com um foco maior em desenvolvimento sustentável, os avanços das metas de cada país foram sendo monitoradas após o lançamento dos ODMs. No Brasil, eles foram divulgados e ficaram conhecidos como "8 jeitos de mudar o mundo", como mostrado na Figura 2.3.

Figura 2.3: Cúpula do Milênio e os ODMs



Fonte: ONU [19]

Depois da Cúpula, demorou um pouco mais para haver algum evento nas mesmas proporções. Em 2011, na COP17, na África do Sul, foi assinado o documento chamado Plataforma de Durban, que trouxe a renovação do Protocolo de Kyoto e a criação do Fundo Verde Para o Clima.

Logo após essa Plataforma, em 2012, ocorreu a Rio+20, conferência para renovação do com-

promisso político com o desenvolvimento sustentável. Houve uma avaliação do progresso das ações sustentáveis e mapeamento das lacunas existentes.

O evento relevante para mudanças climáticas que veio em seguida foi o Acordo de Paris, em 2015. Ele foi um pacto global para adoção de políticas para reduzir as emissões de GEEs, estabelecido na COP21 que ocorreu na França. Ele substituiu o Protocolo de Kyoto sendo aplicável a partir de 2020. Foi ratificado por 147 países que representavam pouco mais da metade das emissões globais. A grande dificuldade desse acordo é que há países com uma parcela significativa de emissões no mundo que não participam, o que dificulta o alcance das metas de uma forma rápida.

Também em 2015, na Assembleia Geral das Nações Unidas, foi criada a Agenda 2030, uma renovação dos ODMs, mas agora intitulados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs). Aumentando de 8 para 17 objetivos, a nova Agenda foi importante para atualizar as metas para os países e renovar as diretrizes que os países precisam tomar. As ações detalhadas na íntegra podem ser acessadas no site da ONU [20], que detalha as ações para cada país.

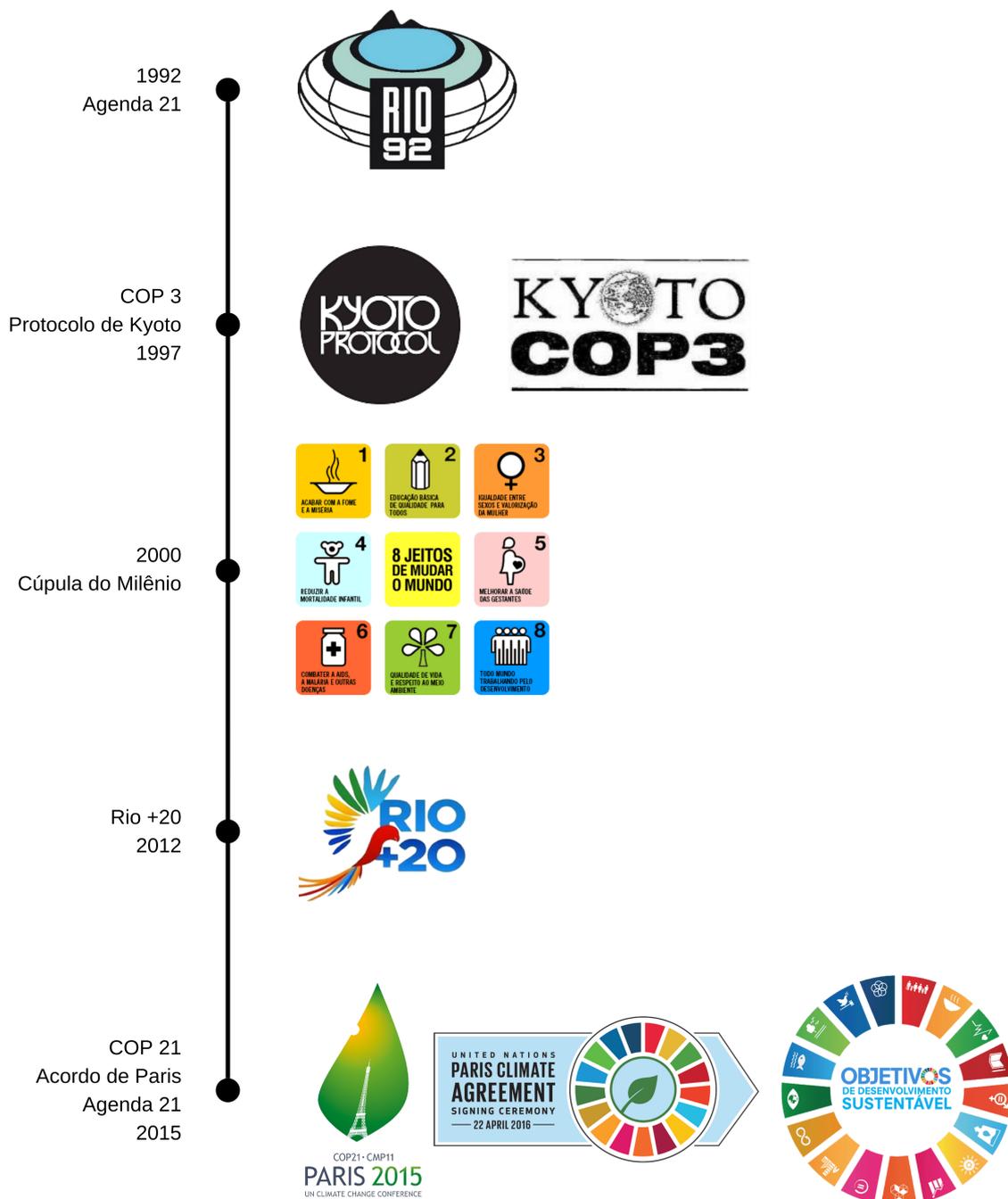
Em suma, os grandes acordos mundiais para o desenvolvimento sustentável podem ser observados na Figura 2.4, explicitadas em uma linha do tempo. E os dois principais acordos para as mudanças climáticas, mais especificamente, foram o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris, que limitaram o valor para aumento da temperatura média global estabelecendo medidas para os países participantes.

2.2 A Transição Energética

O conceito de *Just Transition* foi introduzido pelos Estados Unidos com o enfoque de que essa transição de hábitos fosse justa e não prejudicasse as pessoas com as mudanças. O tema da Transição Energética [4] se encaixa no contexto do mundo que precisa reinventar e mudar os hábitos de consumo energético para que as mudanças climáticas não gerem um colapso mundial, como por exemplo o aumento do nível do mar por conta do degelo dos polos, eventos climáticos extremos por conta do aumento médio da temperatura da terra, acidificação do solo e da água marinha, entre outros. Ela possui cinco formas de abordagem:

1. Descarbonização: foca em ações de renovação de fontes de geração de energia para fontes renováveis com baixa emissão de carbono;
2. Descentralização: foca em aproximar os centros de geração de energia dos consumidores, por meio da geração distribuída, por exemplo;
3. Digitalização: no setor de energia foca em integrar tecnologias digitais, como desenvolvimento de redes elétricas inteligentes, por exemplo, com mais informações acessíveis e automatização de processos;
4. Estrutura de Mercado: foca em uma melhor organização e estratégia da alocação de riscos e de custos entre agentes do setor para desenvolver maior competitividade e também viabilidade para inovações;

Figura 2.4: Linha do tempo com definição mundial de objetivos para o desenvolvimento sustentável



Fonte: Dados da própria autora

Figura 2.5: Custos totais médios ponderados globais instalados, fatores de capacidade e LCOE de recém-comissionados PV solar em escala de utilidade pública, energia eólica onshore e offshore, 2010-2021



Fonte: Relatório de custos de Fontes Renováveis [21]

5. Democratização: foca em melhorar o acesso a energia de boa qualidade e também a preços competitivos, no qual o custo da tecnologia de fontes renováveis abaixe a nível de não valer mais a pena o investimento em fontes não renováveis.

Para a Transição para fontes renováveis acontecer, investimentos devem ser feitos. Segundo a Agência Internacional para as Energias Renováveis (com a sigla em inglês para *International Renewable Energy Agency* - IRENA), em 2021 o custo das energias renováveis caiu a ponto de ficar competitivo ou até mais barato que algumas fontes fósseis, como mostra o Relatório de Custos de Fontes Renováveis [21]. Logo, é um bom momento para o investimento em SFVs como mostra a Figura 2.5.

Ações que reduzem o consumo de energia auxiliam descarbonização, e ações de implementação de fontes renováveis auxiliam na descentralização. O monitoramento e planejamento energético contribui para a digitalização. Então mesmo o trabalho medindo o impacto apenas com emissões de GEE evitadas, indiretamente também há outros impactos positivos para a Transição Energética.

2.3 ISO 50001/2011

A ISO (com a sigla em inglês para *International Organization for Standardization* - ISO) é uma instituição internacional de normatizações. Ela possui hoje cerca de 60 normas de gestão. No Brasil, até 2021, se possuíam 116 certificações da ISO 50001.

A ISO 50001 é uma norma de Sistemas de Gestão de Energia, que procura incentivar o consumidor a reduzir o seu consumo de uma forma eficiente. Ela funciona por meio de uma metodologia de implementação de projetos que se chama PDCA (*Plan* - Planejar, *Do* - Desenvolver, *Check* -

Figura 2.6: O ciclo PDCA e o SGE/SIGE



Fonte: Guia de implementação da ISO 50001 do Procobre [22]

Verificar, *Act* - Atuar), em que a melhoria contínua é sempre estimulada pois essa metodologia funciona em ciclos. Esta metodologia de execução é interessante justamente pelo seu caráter cíclico, então dentro de cada etapa normalmente ocorrem as execuções do Sistema de Gestão de Energia mostradas na Figura 2.6, de acordo com o manual da ISO 50001 feito pelo Instituto Brasileiro do Cobre (Procobre) [22].

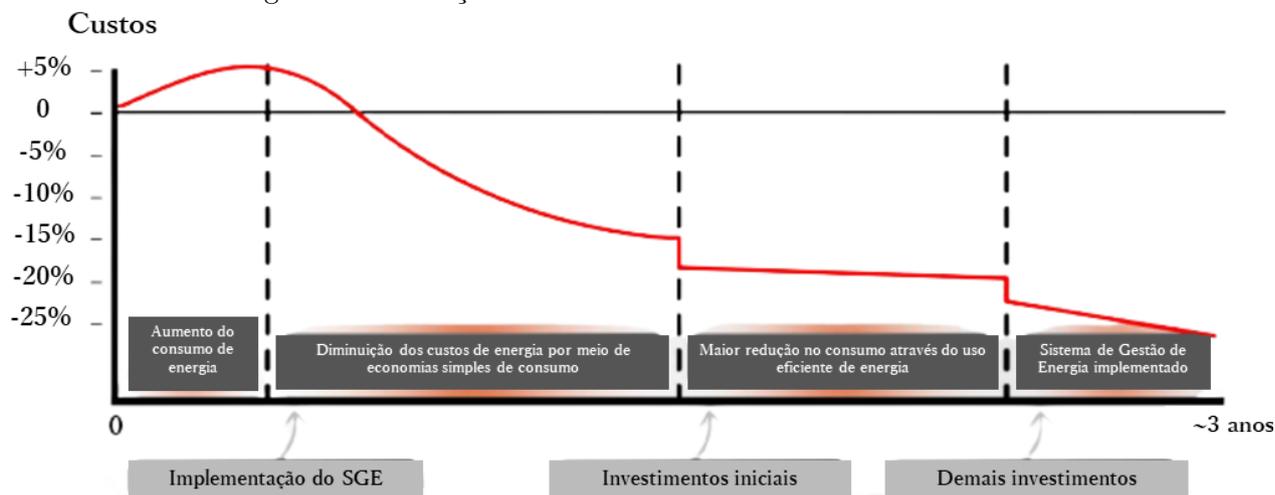
O artigo *Energy Management Systems according to the ISO 50001 Standard – Challenges and Benefits* [23] detalha o passo a passo da implementação desta ISO:

- Estabelecer uma política de gestão de energia ou um espaço no planejamento estratégico da instituição ou organização;
- Formar uma equipe de gestão de energia para implementar efetivamente o SIGE/SGE. No MME-MTur a equipe se chama Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE);
- Fazer uma revisão energética;
- Mapear oportunidades de melhoria do desempenho energético;
- Estabelecer referências e indicadores para acompanhar o desenvolvimento do desempenho energético;
- Fazer planos de ação para o alcance das metas definidas.

Segundo o autor, o investimento inicial pode até ser um pouco alto para implementar o SGE, mas mostra que ao longo do tempo os custos reduzem bastante, como é possível ver na Figura

2.7. Na figura, há quatro etapas de mudanças ao longo do tempo divididas pela implementação do SGE, dos investimentos iniciais e dos demais investimentos, e as etapas são: aumento do consumo de energia, siminuição dos custos de energia por meio de economias simples de consumo, maior redução no consumo através do uso eficiente de energia, e por fim o SGE implementado.

Figura 2.7: Redução do custo de investimento na ISO 50001



Fonte: *Energy Management Systems according to the ISO 50001 Standard – Challenges and Benefits* [23]

2.4 Considerações finais do capítulo

Com o histórico das convenções e conferências internacionais sobre desenvolvimento sustentável e sobre redução de emissões de carbono, é possível observar que há mais de 50 anos a preocupação relacionada às emissões de GEE, mas que a redução de emissões não é tão rápida quanto seu aumento. E a Transição Energética é um conceito que busca contribuir para a redução de emissões. Logo, é importante que todos os setores que consomem energia trabalhem para essa Transição. Por isso, esse trabalho mostra um caminho para essa contribuição por meio de um protocolo para monitoramento do consumo, aplicação de medidas de eficiência e implementação de fontes renováveis.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

Neste capítulo serão apresentados os materiais usados e dos métodos para alcançar os objetivos.

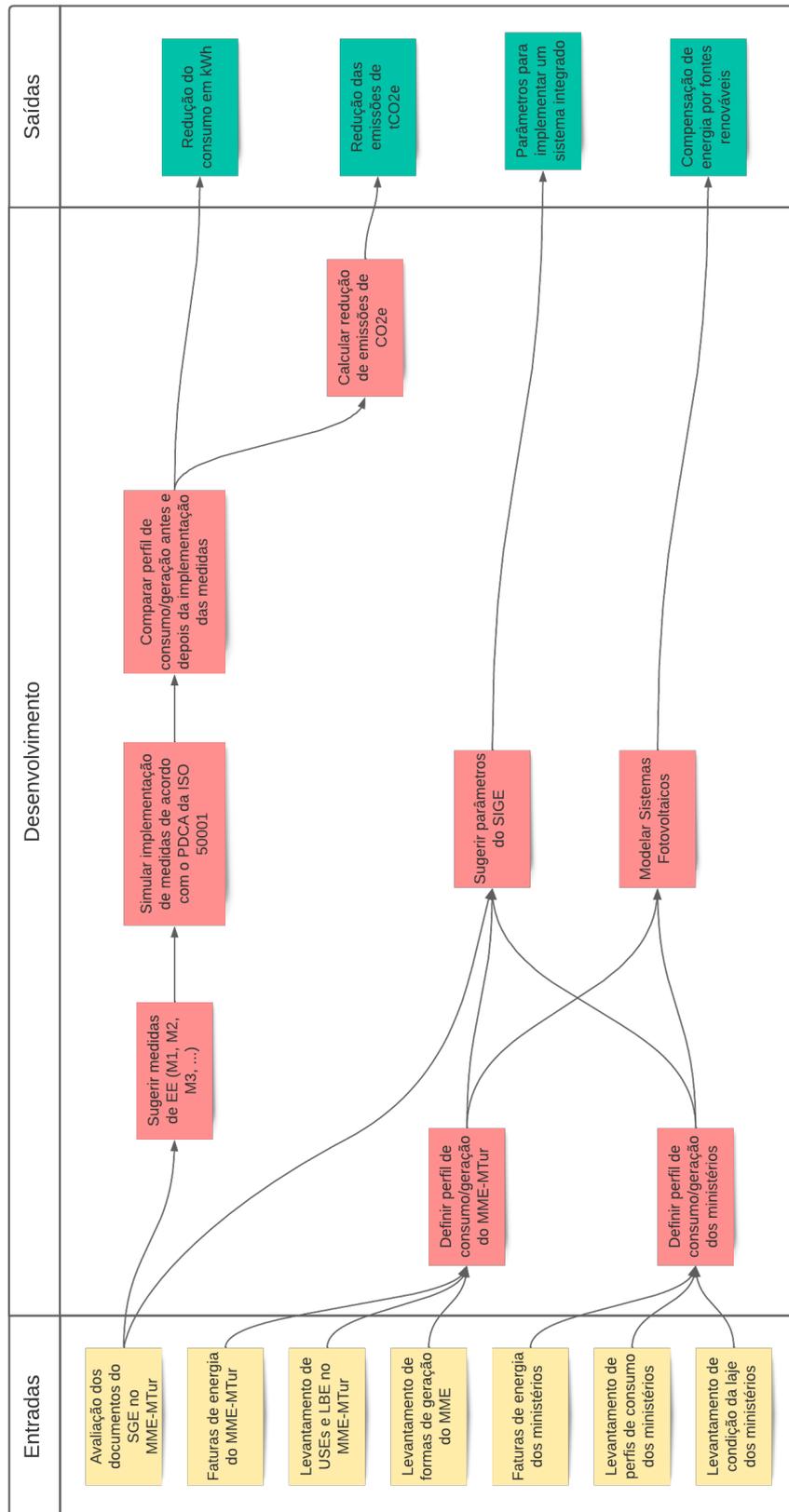
3.1 Fluxograma do Trabalho

De acordo com a estrutura do trabalho, como apresentado inicialmente no tópico 1.5, aqui serão apresentados os materiais e métodos para o estudo da análise de viabilidade técnica e econômica e também do projeto dos sistemas fotovoltaicos. Para o desenvolvimento deste trabalho, seguiu-se o fluxograma apresentado na Figura 3.1, que apresenta as entradas, os passos do desenvolvimento e por fim as saídas.

Em suma, as etapas do trabalho serão seguidas pelos seguintes tópicos:

1. Coleta de dados sobre consumo energético dos ministérios;
2. Indicações de medidas de eficiência energética de acordo com o SGE do MME-MTur;
3. Divisão dos edifícios em três perfis de consumo: alto, médio e baixo;
4. Definição dos parâmetros do SIGE entre os edifícios;
5. Previsão da redução de consumo com a implementação das medidas de EE nos edifícios;
6. Classificação dos edifícios em dois grupos de acordo com a condição da laje: melhor caso e pior caso;
7. Modelagem fotovoltaica do melhor e pior caso para as lajes dos edifícios;
8. Previsão da compensação de consumo com a geração dos SFVs para os dois grupos;
9. Previsão da redução total do consumo com as medidas de EE e com os SFVs;
10. Conversão de consumo elétrico para emissões de GEE;
11. Precificação do consumo e emissões evitados.

Figura 3.1: Fluxograma do Trabalho



Fonte: Dados da própria autora

3.2 Perfil de consumo energético

Para definição do perfil de consumo energético de cada ministério, foram obtidas as faturas de energia dos 17 edifícios do ano de 2022, por meio da solicitação pelo site Portal da Transparência, acessível em [24], as planilhas com o levantamento de cargas dos edifícios e informações técnicas sobre fontes alternativas. Para toda a análise de dados deste trabalho, foi usado o Microsoft Excel (®). Após a solicitação, os edifícios que responderam a solicitação com os dados de consumo energético foram: A, D, E, F, G, J, L, U e R. Os dados obtidos sobre o consumo estão disponíveis nas Tabelas 3.1, 3.2, e 3.3. Com as faturas, foi possível verificar o tipo de consumidor de cada edifício de acordo com suas respectivas contratações com a concessionária, essas informações também constam nas Tabelas. Cada tipo se refere às seguintes características, segundo a neoenergia [25]:

- **Optante B:** consumidor que é atendido em média ou alta tensão, mas que pode optar por ser faturado de acordo com a tarifa de Grupo B, no caso por cumprir o requisito da Resolução Normativa nº 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) que "a potência nominal total dos transformadores for igual ou inferior a 112,5 kVA"[26];
- **THS-AS Verde ou Azul:** A sigla THS é para Tarifa Horo-sazonal, é um tipo de modalidade tarifária em que o consumidor acorda com a concessionária um valor fixo de demanda contratada para horário de ponta e fora ponta, a sigla AS é para Grupo A Subterrâneo, que é para consumidores de média e alta tensão que fazem parte de um sistema de distribuição subterrâneo, compondo uma rede reticulada. E a modalidade tarifária verde e azul se diferenciam pela cobrança da demanda. Na modalidade verde, a demanda possui apenas um valor e há um valor mais alto no transporte de horário de ponta. Enquanto que na modalidade azul, há dois valores para a demanda que variam de acordo com a hora do dia.

É importante destacar que o edifício U, dos ministérios MME e MTur possui dois medidores de energia, diferente dos outros ministérios: U1 é o medidor de aparelhos de ar-condicionado, U2 é o medidor das demais cargas. Mesmo solicitando os dados por meios oficiais de transparência de dados públicos, nem todos os edifícios responderam, então nas seguintes Tabelas apenas constam os dados que foram disponibilizados:

- Edifícios que disponibilizaram os dados de consumo dos 12 meses de 2022: A, D, G, L, U1, U2 e R;
- Edifícios que disponibilizaram os dados parciais de consumo de 2022: E, F, J.

Com os dados de consumo coletados, o método para definição de perfil energético seguiu uma simplificação de dividir os 17 edifícios em três tipos de consumidores: alto, médio e baixo, de acordo com a quantidade de kWh que foram consumidos no ano de 2022. Para os edifícios que consumiram um valor anual maior que 2.000 MWh, foi definido que o consumo é alto. Para os edifícios que consumiram um valor entre 1.000 MWh e 2.000 MWh, foi atribuído o perfil de consumo médio. E

Tabela 3.1: Consumo elétrico dos edifícios A, D, E, F

Bloco	A	D		E		F	
Tipo da tarifa	Optante B	THS-AS		THS-AS		THS-AS	
Ligação		Verde		Verde		Verde	
kWh em 2022	Consumo	Ponta	Fora ponta	Ponta	Fora ponta	Ponta	Fora ponta
Janeiro	69.500	5.871	86.079				
Fevereiro	75.500	5.250	80.840				
Março	73.000	5.172	72.707	18.565	181.261	6.560	60.668
Abril	84.500	6.926	106.305	22.104	220.033	10.559	96.942
Maio	78.000	5.241	92.591	18.519	200.811	11.628	102.610
Junho	64.000	5.513	71.291	18.687	186.407	8.601	69.445
Julho	60.500	4.909	56.893	17.080	169.780	7.228	60.941
Agosto	71.000	4.659	55.689	16.783	169.340	8.209	68.547
Setembro	81.500	5.642	72.060	19.768	189.660	9.001	76.759
Outubro	93.000	5.860	85.975			7.554	74.043
Novembro	70.000	6.333	98.156				
Dezembro	71.500	5.005	64.237				
SOMA	892.000	66.381	942.823	131.506	1.317.292	69.340	609.955
Total	892.000	1.009.204		1.448.798		679.295	

Tabela 3.2: Consumo elétrico dos edifícios G, J, L

Bloco	G		J		L	
Tipo da tarifa	THS-AS		THS-AS		THS-AS	
Ligação	Verde		Azul		Verde	
kWh em 2022	Ponta	Fora ponta	Ponta	Fora ponta	Ponta	Fora ponta
Janeiro	14.435	113.869			11.672	195.878
Fevereiro	14.636	115.522			11.306	193.631
Março	14.300	113.164	8.832	90.512	9.178	166.703
Abril	11.680	138.575	10.655	106.917	13.076	212.552
Maio	9.352	122.150	12.320	126.785	12.277	188.715
Junho	8.652	98.853	8.069	75.757	11.352	172.459
Julho	7.361	76.607	8.040	75.894	10.943	160.446
Agosto	7.401	76.437	9.396	89.105	9.792	154.099
Setembro	10.121	107.130	9.560	95.706	13.141	201.222
Outubro	10.820	123.530			13.584	213.476
Novembro	11.045	137.564			13.277	210.004
Dezembro	8.492	106.796			10.061	175.217
SOMA	128.295	1.330.197	66.872	660.676	139.659	2.244.402
Total	1.458.492		727.548		2.384.061	

Tabela 3.3: Consumo elétrico dos edifícios U1, U2 e R

Bloco	U (medidor 1)		U (medidor 2)		R	
Tipo da tarifa	THS-AS		THS-AS		THS-AS	
Ligação	Verde		Verde		Azul	
kWh em 2022	Ponta	Fora ponta	Ponta	Fora ponta	Ponta	Fora ponta
Janeiro	804	47.096	11.020	96.459	17.691	191.334
Fevereiro	930	46.147	10.455	96.744	17.405	183.410
Março	1.210	43.486	10.185	91.482	15.930	169.896
Abril	1.633	69.538	11.844	105.033	21.277	202.881
Mai	1.766	62.921	10.213	99.865	19.462	184.315
Junho	2.608	39.712	12.204	107.222	26.253	171.080
Julho	2.369	27.640	11.429	101.603	23.588	159.370
Agosto	1.879	22.766	11.608	105.757	21.482	147.800
Setembro	3.711	43.535	12.764	108.682	24.072	180.057
Outubro	4.934	64.349	11.584	103.653	26.937	186.785
Novembro	5.752	72.615	11.120	107.688	31.422	196.480
Dezembro	3.518	42.905	10.539	100.858	24.739	176.671
SOMA	31.114	582.710	134.965	1.225.046	270.258	2.150.079
Total	613.824		1.360.011		2.420.337	

por fim, para os edifícios que possuíram um consumo anual menor que 1.000 MWh, foi definido que estes possuem um perfil de baixo consumo.

O MME-MTur teve uma boa evolução no quesito de desempenho energético com o SGE que foi implementado no edifício. As Tabelas em 3.4 que serão apresentadas neste tópico foram feitas com base nas Tabelas 3 e 4 do documento padronizado do SGE: SGE 004 Relatório da Revisão Energética [27].

Com os grupos consumidores (alto, médio e baixo), foram feitas sugestões de parâmetros a serem seguidos no SIGE, nos padrões da ISO 50001. Os parâmetros avaliados são:

- Índice de Desempenho Energético (IDE): é a quantidade de medida de desempenho energético definido pela organização, que aqui será de consumo/área (kWh/m²);
- Linha de Base Energética (LBE): é o valor referência de consumo energético para definição da meta e avaliação do desempenho energético;
- Meta (META): meta de redução de consumo.

Os valores da META, da LBE e do IDE para cada grupo serão especificados no próximo capítulo 4. Para prever a economia energética, foi projetada a porcentagem de redução que foi obtida no edifício U com a implementação do SGE, já que os edifícios possuem as mesmas características de itens que consomem energia.

Tabela 3.4: Histórico energético e econômico 2018 a 2022

Medidor 1 (aparelhos de ar condicionado)					
Ano	Consumo anual (kWh)	Consumo médio mensal (kWh)	Custo anual	Custo médio mensal	Preço médio R\$/kWh
2018	752.910	62.742,50	R\$ 549.902,54	R\$ 45.825,21	R\$ 0,73
2019	884.737	73.728,08	R\$ 735.736,83	R\$ 61.311,40	R\$ 0,83
2020	633.784	52.815,33	R\$ 528.070,56	R\$ 44.005,88	R\$ 0,83
2021	557.238	46.436,50	R\$ 527.227,67	R\$ 43.935,64	R\$ 0,95
2022	613.824	51.152,00	-	-	-
Medidor 2 (demais cargas)					
Ano	Consumo anual (kWh)	Consumo médio mensal (kWh)	Custo anual	Custo médio mensal	Preço médio R\$/kWh
2018	1.647.880	137.323,33	R\$ 1.101.153,33	R\$ 91.762,78	R\$ 0,67
2019	1.621.157	135.096,41	R\$ 1.311,049,10	R\$ 109.254,09	R\$ 0,81
2020	1.385.846	115.487,16	R\$ 1.029.511,70	R\$ 85.792,64	R\$ 0,74
2021	1.329.116	110.759,66	R\$ 1.125.745,68	R\$ 93.812,14	R\$ 0,85
2022	1.360.011	113.334,25	-	-	-

3.3 Medidas de EE

Quando o SGE foi implementado no MME-MTur, foram feitas medidas de EE que geraram uma economia de energia significativa, como será mostrado. Como os edifícios são todos formados por escritórios, possuem o mesmo projeto arquitetônico, a mesma estrutura, e a finalidade deles é administrativa, esse mapeamento foi estendido para os outros edifícios, e foi feita a previsão da implementação de ações de EE neles como foi feito no MME-MTur. Foi usado então como referência o documento 4 do SGE que há no edifício U da Esplanada: SGE 004 Relatório da Revisão Energética, que pode ser acessado em [27]. Nele há uma análise de critérios de prioridade relacionadas ao potencial de redução no consumo, assim como uma planilha de hierarquia das oportunidades de melhoria.

A ISO 50001 determina que devem ser identificados quais são os principais Usos Significativos de Energia (USEs) para que as metas de redução no consumo possam ser feitas. No edifício U, os USEs mapeados foram: Sistema de condicionamento de ar, Sistema de TI (Tecnologia da Informação) e Sistema de Iluminação.

Além desses USEs, quando foram mapeadas as oportunidades de redução no consumo, também foram considerados os usos de energia: Sistema de Elevadores, Sistema de Bombeamento de água e Sistemas de cargas em geral.

E também foi determinado que para o sucesso da implementação da melhoria contínua, deve haver investimento contínuo em recursos humanos e financeiros para a CICE.

Com essas definições, foram decididas quais seriam as medidas de EE a serem implementadas no MME-MTur, que constam na Tabela 8 do SGE 004 [27], representada pelas Tabelas 3.5, 3.6,

3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12.

É importante ressaltar que na metodologia PDCA da ISO 50001, esses parâmetros de referência e de metas, bem como definição de quais ações serão implementadas ocorre na etapa do planejamento, para então ser efetivado em ação para verificação e a melhoria contínua, em seguida, avaliar o desempenho das medidas, continuar o que funcionou e melhorar o que não gerou o resultado esperado.

Tabela 3.5: Legenda de prazo de ações para ações de EE

Legenda	
	Curto prazo
	Médio prazo
	Longo prazo

Tabela 3.6: Medidas de EE - Ações de Climatização conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações de Climatização
Alteração da sistemática de ligar e desligar as redes elétricas pela equipe de manutenção, que automaticamente liga e desliga os aparelhos.
Estabelecimento de novo setpoint de temperatura na sala cofre do MME.
Estabelecimento de novo setpoint de temperatura na sala cofre do MTUR.
Estabelecimento de novo setpoint de temperatura no arquivo central MME.
Estabelecimento de novo setpoint de temperatura no arquivo central MTUR.
Estabelecimento de novo setpoint de temperatura de salas técnicas (MME e MTUR).
Conscientização dos usuários quanto às boas práticas de uso dos condicionadores de ar.
Substituição dos condicionadores de ar do arquivo central do MTUR por equipamentos com tecnologia inverter.
Substituição dos condicionadores de ar do arquivo central do MME por equipamentos com tecnologia inverter.
Substituição dos condicionadores de ar das salas técnicas (MME e MTUR) por equipamentos com tecnologia inverter.
Colocação/substituição de película sobre os vidros das janelas- fachada leste, sem redução da luminosidade interna.
Realizar a troca das persianas por cortinas que impeçam de forma mais eficiente a incidência solar direta sobre os usuários.
Implantação de um sistema central de climatização de expansão direta à base de Fluxo de Gás Refrigerante Variável, conhecido por VRF (Variable Refrigerant Flow) - projeto já está elaborado.

Tabela 3.7: Medidas de EE - Ações do Data Center conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações do Data Center
Desligar da tomada os monitores de estações de trabalho daqueles servidores que estão em teletrabalho (em andamento).
Conscientizar os servidores em trabalho presencial a desligarem suas estações de trabalho (computadores e monitores) ao final do expediente.
Conscientizar os servidores em trabalho presencial a desligarem os monitores de suas estações de trabalho em horário de almoço ou durante um período mais prolongado de ausência da estação (p. ex. reuniões presenciais).
Deixar desligada(s) a(s) impressora(s), nos andares, que comprovadamente estejam subdemandadas, face ao trabalho remoto.
Desenvolver forma de os servidores em teletrabalho poderem acessar o sistema informatizado do MME diretamente da nuvem, para permitir o desligamento de suas estações de trabalho.

Tabela 3.8: Medidas de EE - Ações de Iluminação conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações de Iluminação
Conscientização dos usuários quanto ao desligamento da iluminação quando for o último a se ausentar do recinto.
Capacitação dos usuários quanto à forma de controle da iluminação, já que este controle é diferenciado em recintos específicos.
Substituir as luminárias com lâmpadas fluorescentes e compactas, por painéis de LED, comandadas por drivers.
Realizar o up-grade (ou a substituição) do software do sistema de iluminação dimerizada com a realização de manutenção corretiva para eliminação de falhas pontuais hoje existentes.
Retrofit completo do sistema de iluminação.

Tabela 3.9: Medidas de EE - Ações de Elevadores conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações de Elevadores
Conscientização dos usuários à utilização de escadas quando tiverem que subir apenas um andar ou descer até dois andares.
Modernização dos elevadores do bloco U (processo em andamento).

Tabela 3.10: Medidas de EE - Ações de Bombeamento conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações de Bombeamento
Efetivar campanha interna de conscientização para a redução de consumo de água, a fim de diminuir a necessidade de bombeamento de recalque de água potável e esgoto.
Avaliação do dimensionamento do sistema, para verificar se está adequado às necessidades de consumo.
Substituir eletrobombas antigas, a médio prazo, por novas de alto rendimento.
Alimentar, alternativamente, os banheiros dos setores de transportes do MME e MTur e das salas operacionais vizinhas com a utilização da água proveniente da cobertura.
Implantar redutores de pressão nas torneiras.
Implantar um piloto de descarga de vaso sanitário por vácuo.
Implantar nos banheiros as torneiras automáticas de aproximação.
Implantar o reuso de águas dos lavatórios para descarga de vasos sanitários.

Tabela 3.11: Medidas de EE - Ações de Cargas em Geral conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações de Cargas em Geral
Desativar paulatinamente as máquinas de fazer café, com substituição por máquinas de autoatendimento.
Fazer gestão junto a empresa de limpeza para a troca dos equipamentos de limpeza por novos mais eficientes conforme disposto em contrato.
Intensificar o planejamento de horário para otimizar a utilização das máquinas de fazer café, evitando que fiquem ligadas o dia todo.
Desligar sistematicamente os frigobares, refrigeradores, fornos de microondas, cafeteiras individuais e outros equipamentos elétricos existentes nas salas nos finais de semana e nos dias úteis quando não houver servidores no local.
Substituir os chuveiros elétricos por duchas com água aquecida por painéis solares.

Tabela 3.12: Medidas de EE - Ações de caráter geral conforme Tabela 8 do SGE 004

Ações de caráter geral
Fortalecimento da equipe técnica da CICE com a contratação /disponibilização de profissionais para operacionalizar o SGE.
Realizar o desligamento das cargas que podem ser desligadas nos horários de ponta.
Fazer gestão junto as CGTI's e CGRL do MME e MTur que operem sincronizadas com a CICE, no sentido de as informações de adição ou retiradas de equipamentos sejam informados para que se faça a Revisão Energética.
Instalação de sistema de gerenciamento de energia (sistema de medição inteligente com monitoramento remoto, para acompanhamento e registro do perfil de consumo horário por uso final).
Ampliar a médio prazo, a potência da usina solar existente na cobertura, fazendo com que a adição de energia ao sistema predial seja elevada, para reduzir o impacto da carga residual permanente nos finais de semana e feriados, favorecendo o Sistema de Gestão de Energia da edificação.

O método de previsão de economia de energia para os outros ministérios tendo o MME-MTur como referência se deu por estender a porcentagem de redução do consumo obtida entre os anos de 2019 e 2022. Para este trabalho foi escolhido como ano base o ano de 2019, pois foi o último ano com desempenho comum dos edifícios, já que durante a pandemia de COVID-19 e antes da vacinação da população, a ocupação dos edifícios mudou drasticamente, reduzindo o consumo que haveria naturalmente. Essa redução do fluxo de pessoas ocultou os resultados da implementação das medidas de EE. Logo, a previsão vai aplicar ao consumo de 2022 a porcentagem de redução do consumo energético que o MME-MTur teve entre 2019 (ano base) e 2022.

3.4 Sistemas Fotovoltaicos

A fim de projetar os sistemas fotovoltaicos (SFVs) novos, foram coletados dados da condição dos telhados dos edifícios e dados técnicos pelo *Google Earth* (®). Além disso, foi feita uma visita técnica guiada para conhecer o SFV instalado. Com a visita foi possível definir que os novos sistemas não serão iguais ao que há no edifício U. E para uma análise mais completa, também foram usados como referência os dados técnicos sobre dimensões e quantidade de andares dos edifícios que estão no capítulo 5.1 do documento 1 do SGE que há no edifício U da Esplanada: SGE 001 Manual de Gestão de Energia, que pode ser acessado em [28]. Neste capítulo, há a informação de que a área dos 10 andares de pavimento tipo (planta padrão por andar, nomenclatura usada para projetos de instalações elétricas) é de 1.783,22 m², a área dos dois subsolos tipo é de 2.072,64 m² e a garagem de 4.440,10 m². O que é relevante para a modelagem do SFV é apenas a área do pavimento tipo.

Para a modelagem fotovoltaica foi utilizado o software *System Advisor Model* (SAM) na versão 2022.11.21. Como são 17 lajes com características distintas, também foi feita uma simplificação na análise e foram escolhidos dois casos para os sistemas: um melhor caso, no qual o SFV pode ocupar uma grande área, e um pior caso, no qual há objetos na laje que prejudicam a utilização do espaço para o SFV. Os edifícios foram divididos em melhor caso e pior caso, e a geração que cada sistema fornecerá será aplicada como forma de compensação no consumo deles.

Para estas modelagens, foi usado como referência o edifício U da Esplanada, do MME-MTur, que já possui um sistema fotovoltaico. O anexo do bloco Q, do Ministério da Defesa, possui também um sistema fotovoltaico, mas os anexos dos ministérios não foram usados na modelagem pois já foi feito um projeto na GIZ para instalação de usinas fotovoltaicas nos edifícios anexos. Ao final deste trabalho, o I possui informações sobre esse projeto que foi feito. A implementação desse projeto pronto fará parte de uma iniciativa pública chamada Esplanada solar e deve ser feita nos próximos anos.

Apesar de já existir um sistema fotovoltaico no edifício U, ele não possui módulos tão eficientes, e foi construído utilizando doações de algumas empresas de energia solar. A usina que existe na laje deste edifício possui as seguintes características técnicas de acordo com a cartilha entregue na visita aberta ao público:

- Potência do sistema: 50 kWp;

- 192 módulos fotovoltaicos padrões de 1600 x 999 mm;
- Três inversores, sendo dois de 15 kWp e um de 20 kWp;
- Tem o potencial de gerar de 5 a 7% do consumo predial em seu momento de ápice de geração;
- Foi inaugurado em 17/11/2016;
- O tipo de contratação foi um termo de cooperação técnico-financeira entre o MME e a ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar, sem ônus para o MME. Segundo a associação, a instalação do projeto custou cerca de R\$400.000,00.

Os sistemas projetados para os outros edifícios serão novos e considerarão outros modelos de módulo fotovoltaico e de inversor pois, segundo [29], o valor aproximado de um quilo-watt-pico em 2022 foi de R\$ 5.000,00 / kWp. Esta usina do edifício U custou cerca de R\$ 8.000,00 / kWp, com um sistema que não é tão eficiente quanto os módulos e inversores mais recentes.

A seguir nas Figuras 3.2 e 3.3 estão duas placas informativas sobre o sistema existente no edifício U da Esplanada:

Figura 3.2: Placa do Sistema Fotovoltaico do Edifício U - MME-MTur - Doadores de componentes do sistema



Fonte: Foto tirada na visita técnica ao MME-MTur

Figura 3.3: Placa do Sistema Fotovoltaico do Edifício U - MME-MTur - Informações gerais



Fonte: Foto tirada na visita técnica ao MME-MTur

E a seguinte Figura 3.4 mostra alguns dos módulos que constam na laje do edifício. Percebe-se que a laje possui um muro de proteção em torno de toda a laje, além de possuir canos e uma casa de bombas, estruturas que diminuem consideravelmente o tamanho que o sistema fotovoltaico poderia ter, e consequentemente, a potência que poderia gerar.

Figura 3.4: Módulos fotovoltaicos no MME-MTur



Fonte: Foto tirada na visita técnica ao MME-MTur

A geração fotovoltaica possui um site de monitoramento aberto, que está disponível em [30]. Mas resumidamente, na Tabela 3.13 há as informações de geração, consumo e contribuição dos SFVs de 2018 a 2022. Observou-se que a porcentagem de geração é pequena comparando ao consumo anual, chegando a cerca de 5% do valor do consumo, como pode ser visto na Tabela 3.4.

Tabela 3.13: Geração fotovoltaica no edifício U

Ano	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Contribuição do SFV (%)
2018	79.337,36	2.400.790	3,304635557
2019	79.755,43	2.505.890	3,182718715
2020	76.705,94	2.019.630	3,798019439
2021	74.910,68	1.886.354	3,971188865
2022	62.221,65	1.973.835	3,152322763
Total gerado	372.931,06	10.786.499	3,457387425

Como cada edifício dos ministérios tem peculiaridades distintas nas lajes (antenas, com condensadores de aparelhos de ar-condicionado, casas de bombas, telhas de amianto, entre outros),

para simplificar a análise, foi feito um melhor caso e um pior caso. A divisão dos casos melhor e pior, assim como a modelagem fotovoltaica constam no capítulo 4, Resultados.

3.5 Impacto na Transição

Para o cálculo do impacto na Transição Energética, haverá a análise de conversão entre unidade de energia economizada (kWh) e redução de créditos de carbono equivalentes (CO₂e). O parâmetro utilizado para essa análise foi um fator de conversão que foi obtido de uma coleta de dados do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) que calcula mês a mês, desde 2006, o índice de kWh por CO₂e de acordo com a matriz de fontes de energia que geraram a energia de cada mês. Então para o ano de 2022 foi feita uma média dos 12 meses do ano. A coleta de dados pode ser acessada em [31]. A conta das emissões evitadas considerará a quantidade de kWh em um ano que pode ser evitada, usando o valor de redução relativo às implementações de medidas de EE e da compensação de energia dos SFVs.

Segundo a empresa CredCarbono, que realiza venda e compra de créditos de carbono [32], em 2022 no Brasil um crédito de carbono custa R\$ 22,00, logo, esta medida será usada como referência para a conta de conversão, presente no capítulo de 4.

A diferença de implementar SGEs diferentes para cada edifício e de implementar o SIGE, um sistema integrado entre eles, consiste em obter o melhor desempenho possível uma vez que as metas serão feitas em conjunto. A norma ISO 50001 é bastante abrangente quando instrui o estabelecimento de parâmetros, o que abre uma margem para implementação de objetivos que possam não estimular o melhor desempenho que o edifício ou instituição pode ter. Convertendo a emissão e o consumo evitados para reais, ficará evidente como o SIGE é economicamente vantajoso.

3.6 Considerações finais do capítulo

Com os dados de entrada e o edifício U como referência, é possível cumprir o objetivo deste trabalho. A partir da avaliação da implementação do SGE com SFV no MME-MTur, espera-se que os resultados mostrem como o SIGE pode reduzir o consumo energético e contribuir positivamente com a Transição Energética.

Capítulo 4

Resultados Teóricos e Experimentais do Estudo de Caso

Neste capítulo há a reunião dos resultados obtidos no capítulo de Materiais e Métodos, e é feito um resumo interligando-os e explicitando o seu desenvolvimento.

4.1 Perfil de consumo energético e Medidas de EE

Iniciando os resultados teóricos e experimentais, para a definição do perfil de consumo, como explicado em 3.2, a divisão dos três perfis ficou a seguinte:

- Perfil de consumo alto (maior que 2.000 MWh): A, F;
- Perfil de consumo médio (entre 1.000 e 2.000 MWh): B, C, D, E, G, J, K, M, N, O, P, Q;
- Perfil de consumo baixo (menor que 1.000 MWh): L, R.

Para cada grupo, será replicada a porcentagem de redução no consumo de energia elétrica que foi obtida no MME-MTur.

4.1.1 Evolução do consumo energético no MME-MTur

No MME-MTur, quando o SGE foi implementado, usou-se como base o ano de 2019 para definição dos parâmetros LBE, IDE e META, que foram definidos no subtópico 3.2. Com os dados de consumo no MME-MTur de 2018 a 2022, foi feita a Tabela 4.1 com as informações: consumo anual, área do ministério, IDE, comparação do IDE com o ano imediatamente anterior, comparação do IDE com o ano base, geração do SFV em cada ano, consumo total com compensação. Nas linhas do IDE, a cor vermelha indica que houve um aumento no consumo em relação à referência, e a cor verde indica que houve uma redução.

Como nos anos de 2020 e 2021 a pandemia da COVID-19 afetou diretamente o fluxo de pessoas e o consumo energético nos edifícios, os resultados do SGE não puderam ser avaliados com clareza.

Tabela 4.1: Parâmetros no MME-MTur

MME-MTur	2018	2019	2020	2021	2022
Consumo total (kWh)	2.400.790	2.505.894	2.019.630	1.886.354	1.973.835
Área do ministério (m ²)	26.417,58	26.417,58	26.417,58	26.417,58	26.417,58
IDE (kWh / m ²)	7,5732	7,9047	6,3708	5,9504	6,2263
Comparando ao ano anterior	-	1,0437	0,8059	0,9340	1,0463
Comparando com 2019	-	1	0,8059	0,7527	0,7876
Geração FV no ano (kWh)	79.337,36	79.755,43	76.705,94	74.910,68	62.221,65
Consumo compensado (kWh)	2.321.452,64	2.426.138,57	1.942.924,06	1.811.443,32	1.911.613,35

Por isso, comparando o IDE de 2022 ao de 2019, é possível perceber que houve uma redução de 21,23% no consumo energético apenas com a implementação das medidas de EE apresentadas em 3.3. E como foi explicado anteriormente, a característica administrativa dos edifícios de ministérios permite que esse valor aproximado de 20% de redução no consumo energético com implementações de medidas de EE seja aplicado aos outros edifícios também, isso será detalhado no próximo subtópico.

Para o SIGE, recomenda-se que a META para o IDE seja um valor menor a cada ano, e que ele não ultrapasse a LBE do ano base.

4.1.2 Previsão para demais edifícios

Como apresentado na subseção anterior, o resultado de redução de 20% do consumo energético será aplicado aos demais ministérios. Uma dificuldade deste trabalho foi que nem todas as faturas de energia foram disponibilizadas pelo portal da transparência, [24], e com isso algumas aproximações tiveram de ser feitas para permitir o desenvolvimento das análises.

Para os edifícios que disponibilizaram algumas faturas, foi feita uma aproximação preenchendo lacunas com valores médios de consumos mensais dos ministérios que forneceram todos os dados. E os ministérios que não forneceram nenhuma fatura foram representados por um consumo médio dos demais ministérios.

Na tabela 4.3 há o consumo anual de todos os ministérios de acordo com as aproximações feitas, a divisão dos edifícios de acordo com seu perfil de consumo e a previsão de redução no consumo de cada um e redução de toda a Esplanada.

Tabela 4.2: Legenda para Tabela 4.3

Legenda	
	Ministérios que forneceram todas as faturas
	Ministérios que forneceram parcialmente as faturas
	Ministérios que não forneceram as faturas (nesses casos foi usado um valor médio dos consumos que foram fornecidos)

Tabela 4.3: Previsão da redução do consumo para demais edifícios

Edifício	Consumo 2022 (kWh)	Grupo consumidor	Implementação de medidas de EE (-20%) (kWh)	Quanto do consumo foi reduzido? (kWh)
A	892.000	Baixo	713.600	178.400
B	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
C	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
D	1.009.204	Médio	807.363,20	201.840,80
E	1.785.317	Médio	1.428.253,60	357.063,40
F	947.408	Baixo	757.926,40	189.481,60
G	1.458.492	Médio	1.166.793,60	291.698,40
J	1.064.067	Médio	851.253,60	212.813,40
K	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
L	2.384.061	Alto	1.907.248,80	476.812,20
M	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
N	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
O	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
P	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
Q	1.689.654,83	Médio	1.351.723,87	337.930,97
R	2.420.337	Alto	1.936.269,60	484.067,40
Total				5.095.625

Com isso, foram feitos os perfis de consumo, como mostra a Tabela 4.3, e foi prevista a implementação de medidas de EE, conforme foi no SGE do MME-MTur apenas com a implementação de medidas de Eficiência. Considerando o perfil de consumo em 2022, poderia ser evitado o consumo de 5.095,625 MWh.

4.2 Modelagem de Sistemas Fotovoltaicos

Como um dos objetivos deste trabalho é promover ações de Eficiência Energética, entende-se que implementar soluções com geração por fontes renováveis de energia também é uma possibilidade. Por isso, foram feitas simulações para prever o quanto sistemas fotovoltaicos nos ministérios poderiam contribuir com a redução de emissões de carbono. E além das medidas de EE citadas,

também foi feita uma modelagem fotovoltaica para abater parte do consumo utilizando o espaço útil das lajes dos edifícios principais dos ministérios com usinas fotovoltaicas.

Com uma inspeção visual feita pelo *Google Maps* (®), a divisão de melhor caso e pior caso ficou conforme a seguinte divisão entre os edifícios da Esplanada:

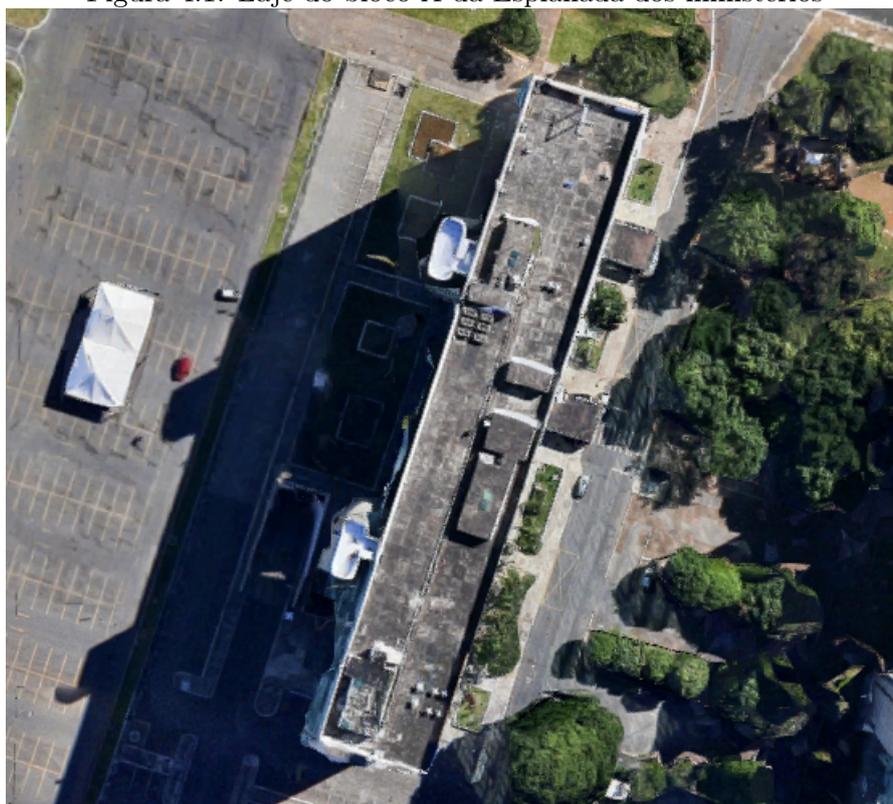
- Melhor caso: A, C, D, E, F, G, J, O, Q;
- Pior caso: B, K, L, M, N, P, R.

Os edifícios usados como base para o melhor e pior caso foram os A e B, respectivamente. Os projetos serão detalhados nos subtópicos a seguir.

4.2.1 "Melhor caso" de um sistema fotovoltaico para edifícios de ministérios

Para modelagem do melhor caso para o sistema fotovoltaico, foi escolhido o edifício A, pois de acordo com a imagem da vista superior disponível no *Google Maps* (®), esta laje não possui muitos obstáculos e é predominantemente plana, exceto onde há casas de máquinas. A Figura 4.1 ilustra como a laje é bastante desobstruída.

Figura 4.1: Laje do bloco A da Esplanada dos ministérios

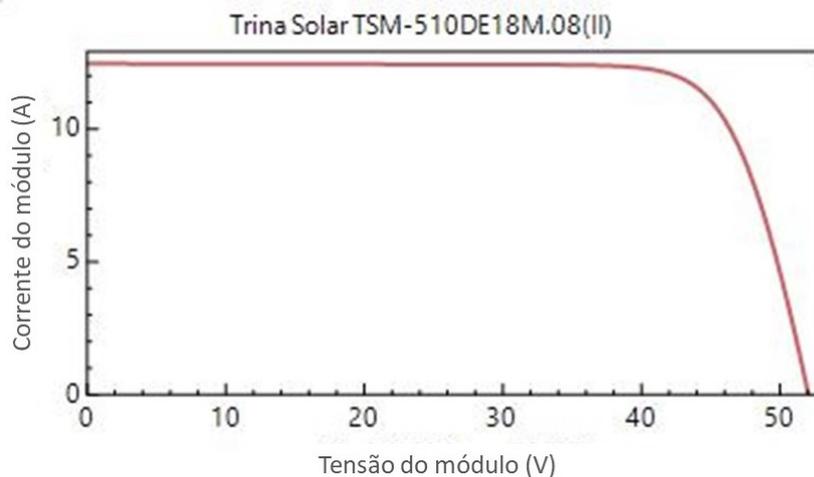


Fonte: *Google Maps* (®) [10]

De acordo com o documento SGE 001, [28], no capítulo 5.1 ele diz que a área do pavimento tipo de um edifício de ministério é de 1.783,22 m². Além dessa informação, foi medido no *Google Maps*

®), com a ferramenta de medir distâncias, quais são as dimensões dos ministérios, e foi possível concluir que cada edifício possui as dimensões de aproximadamente 17 x 104,9 m. Foi então considerado o espaço livre da laje com módulos que podem ficar em cima das casas de máquinas e na laje normal. As informações sobre os módulos (modelo Trina Solar TSM-510DE18M.08(II)) e inversores (CSI Solar Co - Ltd CSI-100K-T480GL02-U [480V]) estão respectivamente nas Figuras 4.2 e 4.3. As especificações técnicas do módulo e dos inversores podem ser verificadas nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Figura 4.2: Especificação do módulo escolhido - Trina Solar TSM-510DE18M.08(II)

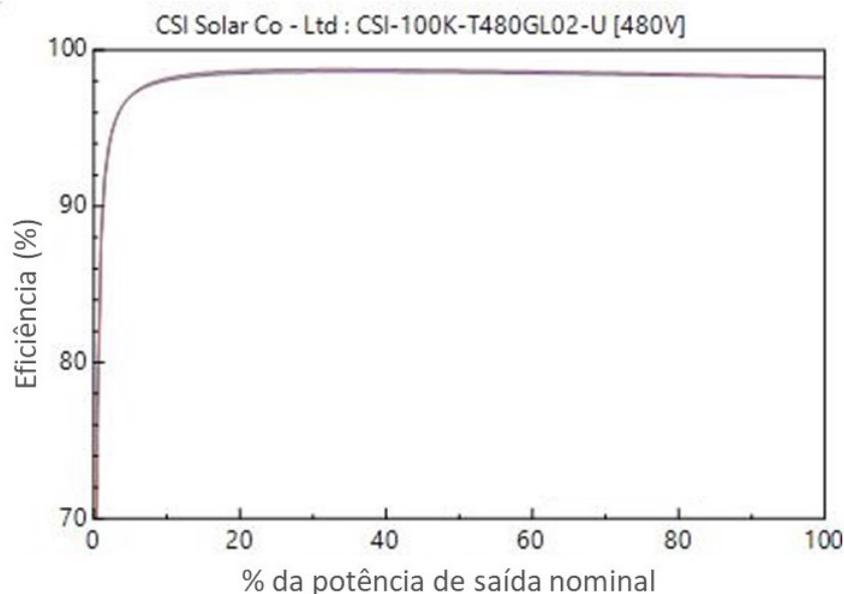


Fonte: Dados da própria autora

Tabela 4.4: Especificações técnicas do módulo - Trina Solar TSM-510DE18M.08(II)

Módulo	Informações	Coeficientes de temperatura	
Modelo	Trina Solar TSM-510DE18M.08(II)	-	-
Eficiência Nominal	21,80%	-	-
Potência máxima	510,192 Wdc	-0,337 %/°C	-1,719 W/°C
Tensão máxima	43,2 Vdc	-	-
Corrente máxima	11,8 Adc	-	-
Tensão de circuito aberto	52,1 Vdc	-0,264	-0,138 V/°C
Corrente de curto circuito	12,4 Adc	0,055 %/°C	0,007 A/°C

Figura 4.3: Especificação do inversor escolhido - CSI Solar Co - Ltd CSI-100K-T480GL02-U [480V]



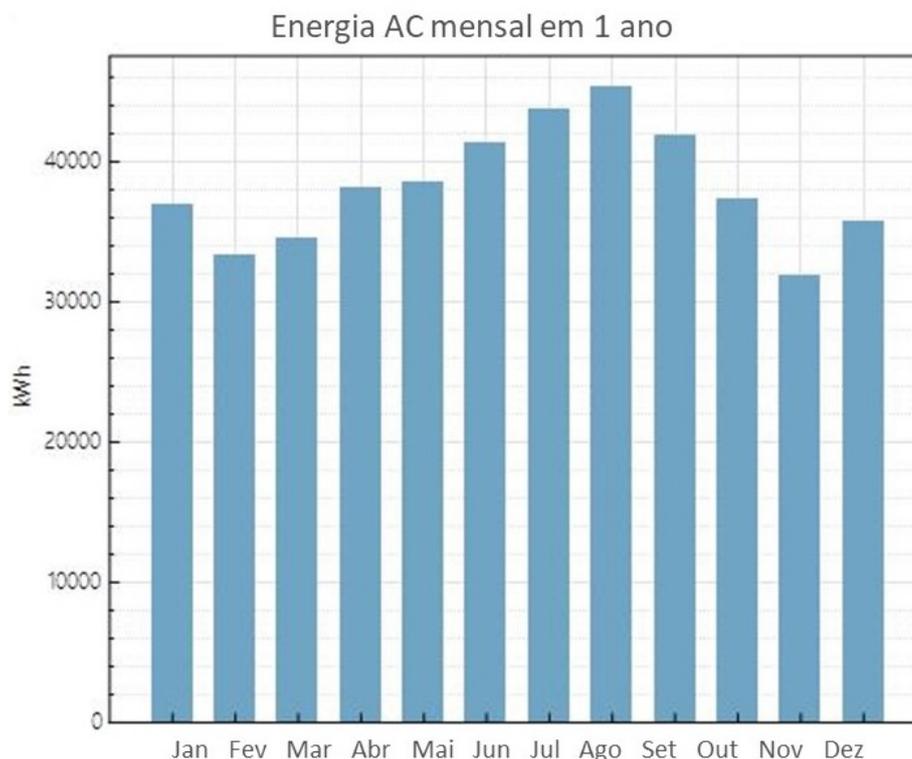
Fonte: Dados da própria autora

Tabela 4.5: Especificações técnicas do inversor - CSI Solar Co - Ltd CSI-100K-T480GL02-U [480V]

Inversor	Informações
Modelo	CSI Solar Co - Ltd CSI-100K-T480GL02-U [480V]
Máxima potência AC	100.000 Wac
Máxima potência DC	101.782 Wdc
Potência de operação	117,287 Wdc
Uso de energia à noite	1 Wac
Tensão nominal AC	480 Vac
Máxima tensão DC	850 Vdc
Máxima corrente DC	141,364 Adc
Mínima tensão DC	550 Vdc
Tensão DC nominal	720 Vdc

De acordo com a disposição no telhado, o sistema foi feito com dois inversores de 16 módulos em série e 16 módulos em *string*, somando um total de 512 módulos ocupando a área total de 1198,08 m². E foram usados dois inversores, um para cada arranjo. Com essas informações, foi feita a modelagem no SAM, como explicado em 3.4, e o sistema modelado gerou o que está na Figura 4.4.

Figura 4.4: Geração FV mensal no melhor caso

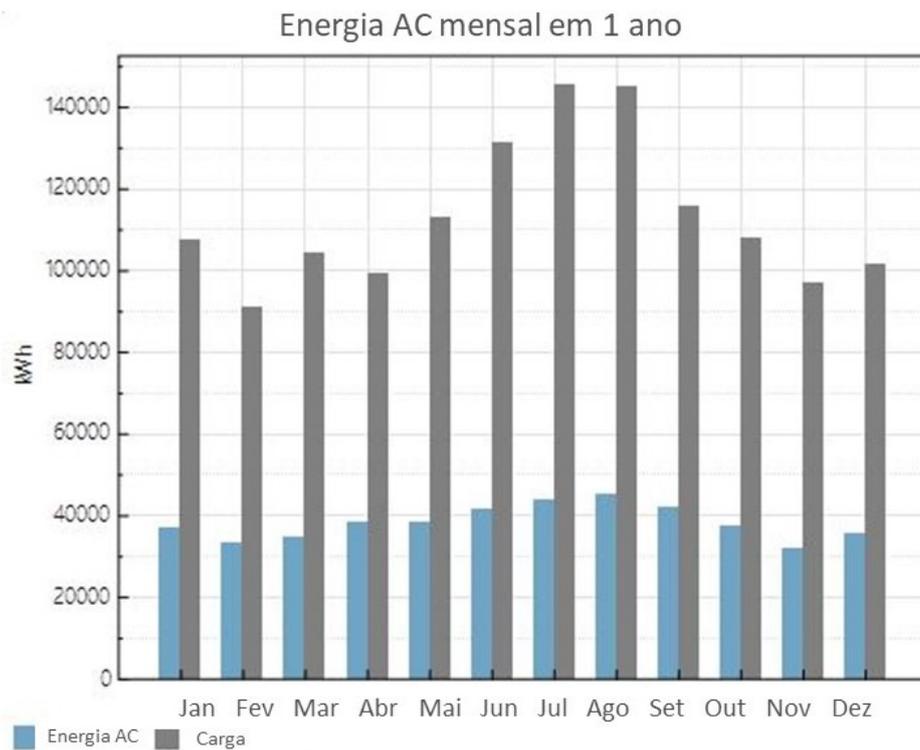


Fonte: Dados da própria autora

A geração anual desse sistema pode ser de até 458.166 kWh. Comparando com o SFV que há no MME-MTur já é um aumento significativo (o sistema que existe no edifício gera até 80.000 kWh por ano), o que mostra como é importante um sistema com planejamento mais detalhado. Para ver aproximadamente quanto essa geração abateria no consumo, foi escolhido um valor médio de consumo dos edifícios que estão no grupo de melhor caso da laje (A, C, D, E, F, G, J, O, Q). De acordo com as tabelas de consumo em 4.1.2, em que há o consumo aproximado de 1 ano de todos os edifícios citados, foi feita a média desses valores e encontrou-se um consumo anual de 1.358.383,611 kWh, e com base nesse input de consumo, o abatimento da geração do SFV seria de aproximadamente 33,7% do consumo anual, como mostra a Figura 4.5, ao final do tópico da Modelagem Fotovoltaica.

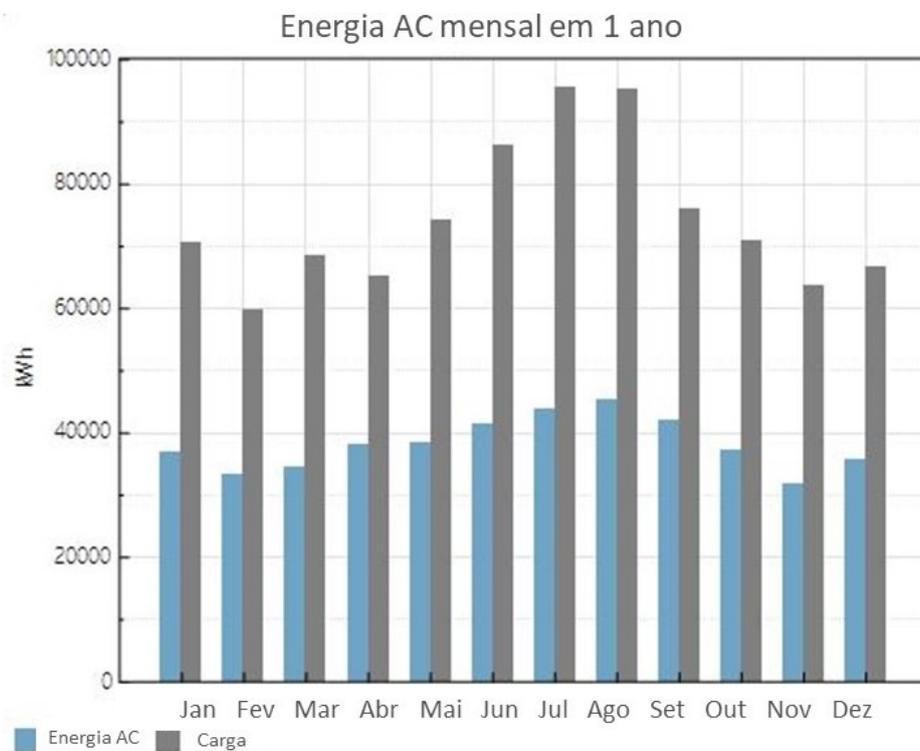
Outra observação importante é que a rede de distribuição na Esplanada é do tipo reticulada, um tipo de rede que não pode funcionar com injeção de energia de um sistema fotovoltaico por conta do seu funcionamento de segurança. E mesmo com a simulação do melhor caso, para o valor de consumo médio, a geração não abateria o consumo. E avaliando o edifício do grupo do melhor caso com o menor consumo, que é o edifício A, a geração não ultrapassaria o consumo, como é possível verificar na Figura 4.6. Esse gráfico mostra como a geração mês a mês não ultrapassa o consumo, porém a dificuldade real se encontra nos casos de feriados e finais de semana, em que não há pessoas frequentando o edifício. Por isso, seria interessante realizar uma análise mais completa dia a dia.

Figura 4.5: Compensação da geração no consumo médio do grupo do melhor caso de laje



Fonte: Dados da própria autora

Figura 4.6: Compensação da geração do melhor caso no edifício A, que possui o menor consumo



Fonte: Dados da própria autora

4.2.2 "Pior caso" de um sistema fotovoltaico para edifícios de ministérios

Para modelagem do pior caso para o sistema fotovoltaico, foi escolhido o edifício B, pois de acordo com a imagem da vista superior disponível no *Google Maps* ®, esta laje possui muitos obstáculos (condensadores de aparelhos de ar-condicionado). A Figura 4.7 ilustra como a laje é bastante estreita.

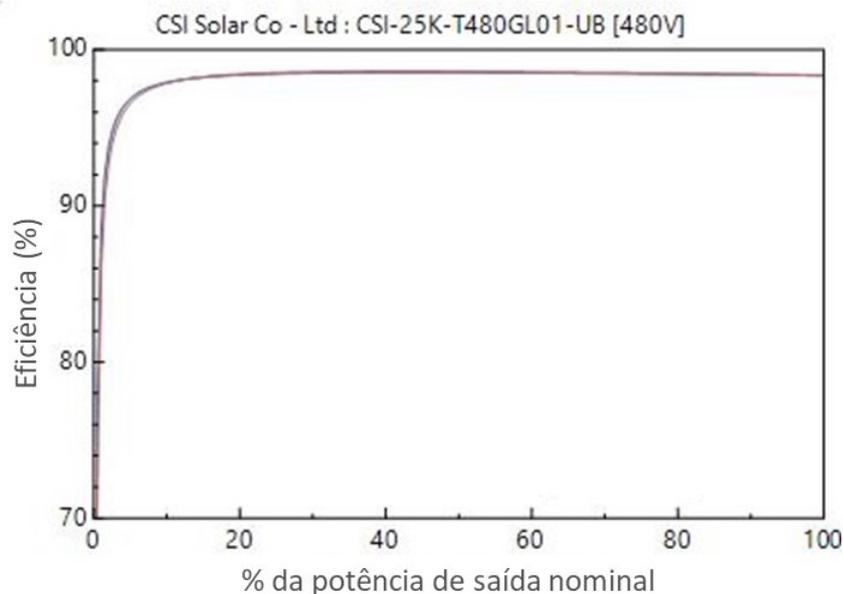
Figura 4.7: Laje do bloco B da Esplanada dos Ministérios



Fonte: *Google Maps* ® [10]

Pela inspeção visual e com a ferramenta de medir distâncias no *Google Maps*, a área disponível para instalação de um SFV é de aproximadamente 380 m². Com essas informações, foi feito um SFV usando o mesmo modelo de módulo do melhor caso, indicado na Figura 4.2, mas o inversor foi um pouco menor (CSI Solar Co - Ltd CSI-25K-T480GL01-UB [480V]), como mostra a Figura 4.8. A Tabela 4.6 mostra as especificações técnicas do inversor do pior caso.

Figura 4.8: Especificação do inversor escolhido - CSI Solar Co - Ltd CSI-25K-T480GL01-UB [480V]



Fonte: Dados da própria autora

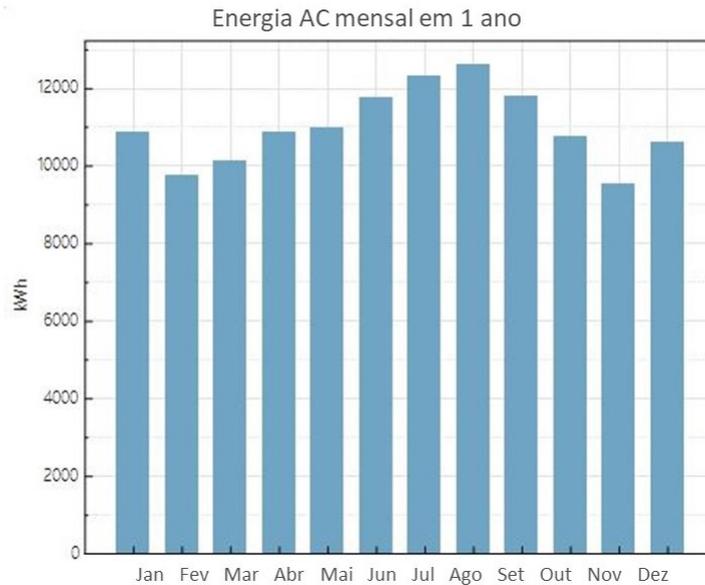
Tabela 4.6: Especificações técnicas do inversor - CSI Solar Co - Ltd CSI-25K-T480GL01-UB [480V]

Inversor	Informações
Modelo	CSI Solar Co - Ltd CSI-25K-T480GL01-UB [480V]
Máxima potência AC	29.958 Wac
Máxima potência DC	25.377,7 Wdc
Potência de operação	28,9305 Wdc
Uso de energia à noite	1 Wac
Tensão nominal AC	480 Vac
Máxima tensão DC	800 Vdc
Máxima corrente DC	53,9951 Adc
Mínima tensão DC	347 Vdc
Tensão DC nominal	470 Vdc

De acordo com a disposição no telhado, o sistema foi feito com dois inversores de 10 módulos em série e oito *strings*, somando um total de 160 módulos ocupando a área total de 374,4 m². E foram usados dois inversores, um para cada arranjo. Com essas informações, foi feita a modelagem no SAM, como explicado em 3.4, e o sistema modelado gerou o que está na Figura 4.9.

Mesmo sendo o pior caso, esse SFV ainda gera mais que o SFV que existe no MME-MTur, podendo gerar até 131.986 kWh ao ano. Para ver aproximadamente quanto essa geração abateria no consumo, foi escolhido um valor médio de consumo dos edifícios que estão no grupo de pior caso da laje (B, K, L, M, N, P, R).

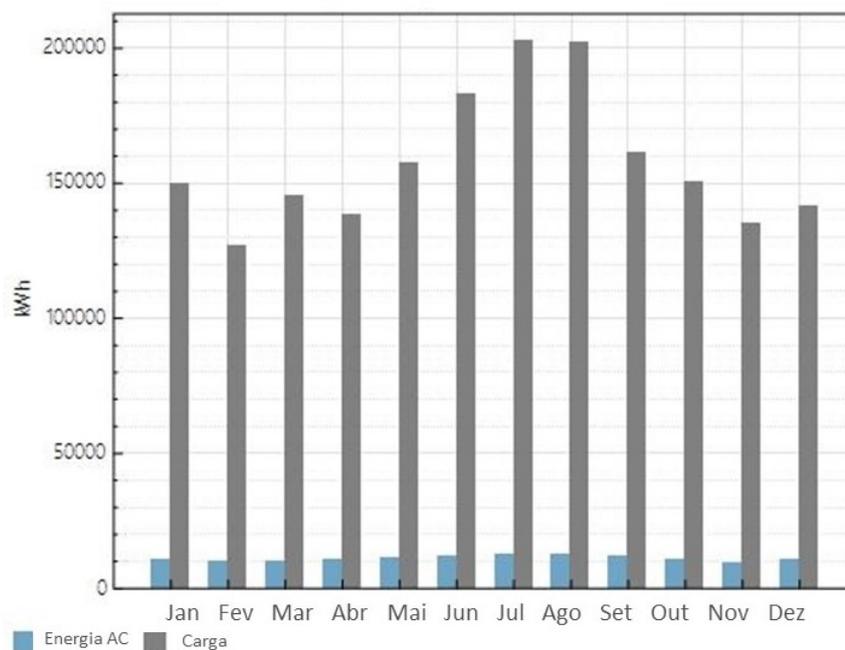
Figura 4.9: Geração FV mensal no pior caso



Fonte: Dados da própria autora

De acordo com as tabelas de consumo em 4.1.2, em que há o consumo aproximado de 1 ano de todos os edifícios citados, foi feita a média desses valores e encontrou-se um consumo anual de 1.893,24 MWh, e com base nesse input de consumo, o abatimento da geração do SFV seria de aproximadamente 6,97% do consumo anual, como mostra a Figura 4.10.

Figura 4.10: Compensação da geração no consumo médio do grupo do pior caso de laje



Fonte: Dados da própria autora

4.3 Redução do consumo: SIGE com SFVs

Reunindo os dados de porcentagens de redução no consumo relacionados à implementação de medidas de EE pelo SIGE e à implementação de SFVs, a tabela 4.7 mostra a porcentagem final potencial de redução de cada edifício. Ressalta-se que essa é uma porcentagem otimista, considerando que o sistema FV instalado seja da qualidade prevista e que as medidas de EE tenham um bom desempenho assim como foi no MME-MTur, mostrando assim um potencial que o SIGE com os SFVs possuem para reduzir o consumo de energia de uma forma eficiente e com compensação por geração de energia por uma fonte renovável.

Esses SFVs projetados são sugestões de implementações novas para os outros edifícios de ministérios além do edifício U, que já possui o SFV, como mostrado em 4.2.

Tabela 4.7: Previsão da redução com o SIGE e com os SFVs

Edifício	Grupo consumidor	Redução EE	Grupo laje	Compensação SFV	Redução total (%)
A	Baixo	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
B	Médio	20%	Pior caso	6,90%	26,90%
C	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
D	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
E	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
F	Baixo	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
G	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
J	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
K	Médio	20%	Pior caso	6,90%	26,90%
L	Alto	20%	Pior caso	6,90%	26,90%
M	Médio	20%	Pior caso	6,90%	26,90%
N	Médio	20%	Pior caso	6,90%	26,90%
O	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
P	Médio	20%	Pior caso	6,90%	26,90%
Q	Médio	20%	Melhor caso	33,70%	53,70%
R	Alto	20%	Pior caso	6,90%	26,90%

Como mostra a Tabela 4.7, o potencial de redução de consumo é bastante significativo, e a avaliação da redução total de consumo energético de todos os edifícios sede de ministérios na Esplanada será detalhada na próxima seção.

4.4 Impacto na Transição: Emissões

Para o cálculo das emissões foi usada a referência [31] do MCTI, que avalia desde 2006 mês a mês o fator de conversão de kWh para emissões de CO₂e de acordo com a forma de geração de energia elétrica de cada mês no Sistema Interligado Nacional (SIN). A média para o ano de 2022

foi de 0,38289 tCO₂ / MWh. Fazendo uma estimativa do consumo elétrico reduzido de acordo com a tabela 4.3 e fazendo a conversão da energia em emissões de GEE, obtém-se a redução de 10130,03 MWh, e assim, 3.878,69 tCO₂e, como mostra a tabela 4.8.

Tabela 4.8: Previsão da redução das emissões de carbono

Edifício	Consumo 2022 (MWh)	Consumo evitado (MWh)	Emissões evitadas (tCO ₂ e)
A	892	479,01	183,41
B	1.689,65	454,51	174,03
C	1.689,65	907,34	347,41
D	1.009,20	541,94	207,50
E	1.785,31	958,71	367,08
F	947,41	508,75	194,79
G	1.458,49	783,21	299,88
J	1.064,06	571,4	218,78
K	1.689,65	454,51	174,03
L	2.384,06	641,31	245,55
M	1.689,65	454,51	174,03
N	1.689,65	454,51	174,03
O	1.689,65	907,34	347,41
P	1.689,65	454,51	174,03
Q	1.689,65	907,34	347,41
R	2.420,33	651,07	249,28
Total	25.478,12	10.130,03	3.878,69

Para fazer a conversão de kWh e CO₂e para reais, viu-se que hoje o crédito de carbono (uma tonelada de CO₂e), segundo [32], no Brasil custou entre R\$ 12,00 e R\$ 365,00 no ano de 2022. Com o valor do crédito de carbono flutua muito no mercado, foi feita uma conversão para o maior valor e uma para o menor valor de CO₂e no Brasil em 2022. Com isso, fazendo a conversão do valor que foi evitado de emissões para o valor em reais, a Tabela 4.9 mostra que o custo que pode ser evitado é de R\$ 46.544,28 a R\$ 1.415.721,85, dependendo do valor do crédito de carbono.

Tabela 4.9: Previsão da redução das emissões de carbono

Consumo evitado (MWh)	Emissões evitadas (tCO ₂ e)	Conversão do menor valor (R\$12,00)	Conversão do maior valor (R\$365,00)
10.130,03	3.878,69	46.544,28	1.415.721,85

Segundo o Global Carbon Atlas [33], o Brasil emitiu 489.000.000 tCO₂. Então comparando com a emissão do Brasil, a contribuição é quase insignificante. Assim como o valor evitado ao ano de R\$201303,492, que comparado aos custos dos ministérios também não é muito.

4.5 Considerações finais do capítulo

Os resultados experimentais mostraram que a redução de consumo com o SGE, implementado no MME-MTur foi bastante satisfatória, trazendo uma economia energética de 21,23%. Isso mostra como a metodologia da ISO 50001, de implementar o ciclo PDCA realmente consegue contribuir para gestão e redução do consumo de energia. Em contrapartida, foi possível observar que o SFV que existe no edifício U não gera uma compensação satisfatória, uma vez que abate apenas cerca de 4% do consumo do edifício.

Os resultados teóricos da implementação do SIGE nos demais ministérios foi bastante satisfatória, mostrando uma redução significativa do consumo energético, considerando que os edifícios possuem o mesmo potencial de desempenho do edifício U. E o diferencial da proposta do trabalho foram os SFVs projetados que, mesmo não entrando em muitos detalhes de edifício a edifício, mostraram que a combinação do SIGE com novos SFVs podem reduzir muito o consumo energético, tanto pela eficiência implementada quanto pelo abatimento do consumo. Indo de 26,9 % a 53,7 % de redução, a economia energética prevista neste modelo foi de 39,75 % em toda a Esplanada dos Ministérios.

Por fim, mesmo não representando significativamente na quantidade total de emissões do Brasil, a redução de emissões prevista com esse sistema possui potencial para contribuir com a Transição Energética. Com a implementação de SIGEs em outras instituições públicas, é possível reduzir o consumo de uma forma eficiente, abater o consumo com energia renovável e evitar emissões por meio da redução do consumo.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Conclusões gerais

As etapas de desenvolvimento do capítulo 3 mostram resultados satisfatórios, avaliados no capítulo 4. A começar pelas medidas de EE que podem ser implementadas no SIGE por meio do ciclo PDCA, o SGE do MME-MTur gerou uma redução de 21,23% do consumo energético. Só essa etapa já possui grande potencial para impacto na Transição Energética. E como é mostrado nos documentos do SGE, as medidas implementadas não são ações complexas, e sim ações que suprem as necessidades mapeadas na etapa do planejamento do SGE que tem potencial de redução no consumo de acordo com os USEs.

Como os edifícios são semelhantes no quesito de função administrativa, isso os torna parecidos quando se trata de consumo energético e de USEs. Mesmo alguns edifícios consumindo mais e outros consumindo menos energia, os equipamentos que constam neles são de funções semelhantes, então foi possível estender a porcentagem de potencial redução do consumo devido à medidas de EE.

Assim como as medidas de EE por meio do SIGE, os SFVs se mostraram satisfatórios para redução do consumo energético por meio do abatimento de energia, principalmente o melhor caso, que tem o potencial de compensar boa parte do consumo. Destaca-se novamente como o projeto e o planejamento do SFV são importantes uma vez que o investimento em um sistema que não aproveita todo o potencial do espaço pode não gerar o resultado esperado.

O potencial de redução unindo os SFVs com as medidas de EE foi extremamente satisfatório, mostrando que há casos que o consumo pode reduzir pela metade. Sabendo que a tendência é que o consumo de energia aumente e que sejam instalados novos equipamentos, é importante haver uma ação de Eficiência Energética que melhora o desempenho da instituição, assim como um SIGE que estimula a melhoria contínua dos processos de governança, planejamento e monitoramento das ações relacionadas à energia.

E com a redução do consumo elétrico, foi possível mostrar que uma ação de eficiência energética juntamente com a implementação de fontes renováveis tem grande potencial de impacto positivo

para a Transição Energética. Servindo como um exemplo a ser seguido, a implementação de SIGEs pode auxiliar bastante o processo de tornar os consumidores mais eficientes, conscientes e menos emissores.

Como mostra o *Global Carbon Atlas* [33], o Brasil emitiu 489 MtCO₂. Então comparando com a emissão do Brasil, a contribuição do SIGE e dos SFVs, a quantidade de emissões evitadas é quase insignificante. Assim como o valor evitado ao ano de R\$ 46.544,28 a R\$ 1.415.721,85, a depender do valor do crédito de carbono. Comparando com os custos anuais dos Ministérios, esses valores não são muito representativos. Contudo, o resultado que mostra como estas soluções podem reduzir proporcionalmente o consumo nos ministérios é satisfatório para uma implementação inicial. Com um exemplo de SIGE nos ministérios, outras instituições públicas também podem implementar SIGEs, reduzindo o consumo efetivamente.

Ver como a Eficiência Energética e a implementação de Fontes Renováveis de Energia podem contribuir positivamente para evitar catástrofes climáticas e para a Transição Energética foi bastante importante para a minha formação profissional, pois mostrou que soluções não tão complexas também podem gerar um impacto positivo. Às vezes a complexidade pode impedir que um novo projeto ou uma nova ideia sejam implementados com muitas barreiras de tecnologia ou de custo, mas este trabalho avaliou um sistema que já existe e previu que sua implementação em outros locais também é benéfica.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Este trabalho tange diversas áreas de conhecimento assim como várias etapas que ainda podem ser melhor detalhadas. Por isso, este tópico foi feito para listar sugestões para trabalhos futuros seguidos deste:

1. Avaliação da implementação de Sistemas Integrados de Gestão de Energia para os edifícios anexos também, além dos edifícios sede que foram analisados neste trabalho;
2. Planejamento da escalabilidade deste Sistema Integrado de Gestão de Energia para outros edifícios públicos no Brasil, pela facilidade de obtenção de dados de consumo energético, uma vez que são dados públicos, mostrando os benefícios econômicos, técnicos e ambientais da sua implementação;
3. Avaliação econômica de quanto foi investido em medidas de Eficiência Energética (EE) e quanto tempo foi necessário para o retorno deste investimento, ou da criação de um método para análise econômica de investimentos e paybacks para medidas de EE;
4. Levantamento dos passos que faltam para a implementação da ABNT NBR ISO 50001 nos outros 16 edifícios de ministérios com a implementação do sistema integrado feita;
5. Realização da análise detalhada do perfil de consumo energético de cada edifício da Esplanada;

6. Desenvolvimento de um projeto de atualização para o sistema fotovoltaico existente no edifício U da Esplanada;
7. Detalhamento da modelagem fotovoltaica considerando sombreamento e outras perdas no SFV;
8. Análise detalhada das lajes para SFVs individualizados nos telhados de todos os edifícios sedes de ministérios.

Como é uma iniciativa importante para a disseminação de um caminho para alcançar a Transição Energética, é importante que este trabalho seja mais detalhado, de acordo com as sugestões de trabalhos futuros, para que sua implementação seja possível e mais atrativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CLIMÁTICAS, P. I. sobre M. *The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030*. 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipcc-ar6-wgiii-pressrelease/>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [2] UNIVERSITIES; SCIENTISTS. *Our World in Data*. 2011. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/>>. Acesso em: Agosto de 2022.
- [3] SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do protocolo kyoto ao acordo de paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 42, 2017.
- [4] S.P.A., E. G. P. *A Transição Energética*. 2020. Disponível em: <<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/transicao-energetica>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [5] GIZ. *Sistemas de Energia do Futuro no Brasil (ESZ)*. 2016. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/worldwide/73757.html>>. Acesso em: Agosto de 2022.
- [6] ENERGIA, M. de Minas e. *Sistemas de Energia do Futuro*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/sistemas-de-energia-do-futuro>>. Acesso em: Junho de 2022.
- [7] ENERGIA, M. de Minas e. *ACORDO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA Nº 4/2020*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/iso-50001/assuntos/noticias/ministerios-de-minas-e-energia-e-do-turismo-implementam-o-sistema-de-gestao-de-energia-no-bloco/01ACTSGEMMENTUR.pdf>>. Acesso em: Junho de 2022.
- [8] ENERGIA, M. de Minas e. *ISO 50001 nos Ministérios de Minas e Energia e do Turismo*. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cice-sge>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [9] MARIMON, F.; CASADESÚS, M. Reasons to adopt iso 50001 energy management system. *Sustainability*, MDPI, v. 9, n. 10, p. 1740, 2017.
- [10] GOOGLE. *Localização da Esplanada dos Ministérios*. 2023. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-15.7974281,-47.8695826,717m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: Janeiro de 2023.

- [11] REPÚBLICA SECRETARIA GERAL, S. p. A. J. Presidência da. *Decreto Nº 10.779, de 25 de agosto de 2021*. 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10779.htm>. Acesso em: Dezembro de 2022.
- [12] LNCC, L. N. de C. C. *Decreto Nº 10.779/2021 - Consumo de Energia Elétrica*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/lncc/pt-br/acao-a-informacao/consumo-de-energia-eletrica-decreto-ndeg-10-779-de-25-de-agosto-de-2021#:text=Decretoz%20N%C2%B0%2010.779%2F2021%20%2D%20Consumo%20de%20Energia%20El%C3%A9trica,-Compartilhe%3A&text=A%20medida%20atende%20ao%20Decreto,anos%20de%202018%20e%202019.>>. Acesso em: Dezembro de 2022.
- [13] KANNEGANTI, H. et al. Specification of energy assessment methodologies to satisfy iso 50001 energy management standard. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Elsevier, v. 23, p. 121–135, 2017.
- [14] OLIVEIRA, M. d.; VECCHIA, F. A controvérsia das mudanças climáticas e do aquecimento global antropogênico: consenso científico ou interesse político. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 5, p. 946–962, 2009.
- [15] UNIDAS, O. das N. *Declaração da Conferência de ONU no Ambiente Humano*. 1972. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/estocolmo_mma.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [16] WWF. *O que é o desenvolvimento sustentável?* Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/>. Acesso em: Novembro de 2022.
- [17] CLIMÁTICAS, P. I. sobre M. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability: The working group ii contribution to the ipcc sixth assessment report assesses the impacts of climate change, looking at ecosystems, biodiversity, and human communities at global and regional levels. it also reviews vulnerabilities and the capacities and limits of the natural world and human societies to adapt to climate change*. 2022. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>>. Acesso em: Dezembro de 2022.
- [18] CNN. *Entenda o significado da sigla COP e saiba o que esperar da cúpula sobre o clima: 27ª edição do evento climático da onu começa no próximo domingo (6) e deve contar com 200 países*. 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/entenda-o-significado-da-sigla-cop-e-saiba-o-que-esperar-da-cupula-sobre-o-clima/>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [19] UNIDAS, O. das N. *About Us*. 2021. Disponível em: <<https://www.un.org/en/about-us>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [20] UNIDAS, O. das N. *Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: Junho de 2022.

- [21] IRENA. *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2021*. 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [22] ICA/PROCOBRE. *GUIA PARA APLICAÇÃO DA NORMA ABNT NBR ISO 50001 – GESTÃO DA ENERGIA*. 2015. Disponível em: <<http://abcbre.org.br/guia-para-aplicacao-da-norma-abnt-nbr-iso-50001-gestao-da-energia/>>. Acesso em: Junho de 2022.
- [23] FIEDLER, T.; MIRCEA, P.-M. Energy management systems according to the iso 50001 standard—challenges and benefits. In: IEEE. *2012 International conference on applied and theoretical electricity (ICATE)*. [S.l.], 2012. p. 1–4.
- [24] UNIÃO, C. geral da. *Portal da Transparência*. 2004. Disponível em: <<https://portaldatransparencia.gov.br/>>. Acesso em: Setembro de 2022.
- [25] NEOENERGIA. *Informações úteis*. 2021. Disponível em: <<https://www.neoenergiaelektro.com.br/seu-negocio/informacoes-uteis>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [26] ANEEL. *Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010*. 2010. Disponível em: <<https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/one-hub-brasil—2018/sp/documents/bren2010414.pdf>>. Acesso em: Janeiro de 2023.
- [27] MME-MTUR, C. Comissão Interna de Conservação de Energia do. *SGE 004 Relatório da Revisão Energética*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cice-sge/arquivos/sge-004-relatorio-da-revisao-energetica-mme-mtur-rev-001.pdf>>. Acesso em: Junho de 2022.
- [28] MME-MTUR, C. Comissão Interna de Conservação de Energia do. *SGE 001 Manual de Gestão Energética*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cice-sge/arquivos/sge-001-manual-de-gestao-da-energia-rev-001.pdf>>. Acesso em: Junho de 2022.
- [29] GREENER. *Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2022 | Mercado Fotovoltaico 1º Semestre*. 2022. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-1-semester/>>. Acesso em: Fevereiro de 2023.
- [30] ENERGY, S. *Painel de Controle de Geração Fotovoltaica*. 2006. Disponível em: <<http://monitor.solarenergy.com.br/PainelDeControle/Default/Index/058f4c86-97d1-45ba-8d00-ef84d181ffea>>. Acesso em: Junho de 2022.
- [31] CIÊNCIA, T. e. I. M. Ministério da. *Fator médio - Inventários corporativos*. 2006. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Acesso em: Janeiro de 2023.

- [32] CREDCARBONO, E. *Créditos de Carbono – Valor por hectare em diversas culturas*. 2022. Disponível em: <<https://credcarbo.com/carbono/creditos-de-carbono-valor-por-hectare-em-diversas-culturas/>: :text=No%20Brasil%2C%20o%20cr%C3%A9dito%20de%20carbono%20pode%20ser%20usado%20para,por%20tonelada%20de%20CO2%20equivalente.>. Acesso em: Fevereiro de 2023.
- [33] ATLAS, W. C. *Emissions*. 2013. Disponível em: <<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>>. Acesso em: Novembro de 2022.

ANEXOS

I. ANEXO I



Ideal Estudos e Soluções Solares

**ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA E PROJETO BÁSICO
ORIENTATIVO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO
INTEGRADO SOBRE AS COBERTURAS DOS ANEXOS
DOS MINISTÉRIOS DA ESPLANADA**

[ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA]

ESPLANADA SOLAR

5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO PROJETO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA UFV

5.1.1 LOCALIZAÇÃO

A Usina Fotovoltaica que trata este documento será instalada nos Anexos da Esplanada dos Ministérios, em Brasília, Distrito Federal nas coordenadas aproximadas de 15,78° S e 47,89° O e altitude aproximada de 1.120 m.

A Esplanada dos Ministérios está localizada no Eixo Monumental, via que corta o Plano Piloto no sentido leste-oeste. A área é um vasto gramado com 17 prédios de construção uniforme, que abrigam os ministérios, órgãos do Poder Executivo. Ao final, está o Congresso Nacional. A **FIGURA 1** mostra o Eixo Monumental, os Ministérios e seus Anexos.



Figura 1 - Vista superior da Esplanada dos Ministérios.

5.1.2 DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL

A Esplanada dos Ministérios possui dez Anexos conectados às edificações principais. Um deles já possui integração fotovoltaica a sua cobertura. Os demais estão mostrados na **FIGURA 2**. As fachadas Norte das edificações estão com desvio azimutal de aproximadamente 16° L.



Figura 2 - Anexos da Esplanada dos Ministérios – Nove conjunto de edificações, âmbito desta especificação técnica.

As condições gerais dos locais para a instalação da UFV são descritas a seguir. **Ressalta-se que as descrições e fotografias contidas neste documento não eximem, a CONTRATADA de realizar avaliação criteriosa do local, de levantar e conferir todas as informações, detalhes estruturais, detalhes de arquitetura e das instalações elétricas e hidráulicas que possam interferir na execução do Projeto Executivo e na execução dos serviços a serem prestados. A CONTRATADA deve considerar os projetos arquitetônicos atualizados e completos, que serão fornecidos pela CONTRATANTE, para elaborar o Projeto Executivo.**

5.1.3 COBERTURAS

Os Anexos 1 a 8 possuem as mesmas dimensões. São compostos por dois retângulos de 100 m x 20 m, conectados por uma passarela coberta. A área disponível para integração fotovoltaica descarta a torre de caixa d'água e a escada que dá acesso à cobertura, totalizando 1.950 m². Os Anexos foram divididos de acordo com o tipo de cobertura de cada um. Os Anexos de 1 a 6 possuem laje de concreto como cobertura. Já os Anexos 7 e 8, possuem telhas metálicas sobre as lajes de concreto, conforme ilustra a

FIGURA 3.

O Anexo 9, também apresentado na FIGURA 3, possui cobertura em formato circular de 70 m de diâmetro. A área disponível para integração fotovoltaica descarta as torres de acesso à cobertura, totalizando 3.123 m². O Anexo possui laje de concreto como cobertura.