

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ANDRÉ DE KATULICA RODRIGUES OLIVEIRA

**AS ESTRATÉGIAS DE TI VERDE FRENTE AOS OBJETIVOS DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:** um estudo de caso comparativo dos
impactos ambientais de empresas do ramo de Tecnologia da Informação

São Luís

2023

ANDRÉ DE KATULICA RODRIGUES OLIVEIRA

**AS ESTRATÉGIAS DE TI VERDE FRENTE AOS OBJETIVOS DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:** um estudo de caso comparativo dos
impactos ambientais de empresas do ramo de Tecnologia da Informação

Monografia apresentada ao Curso de
Sistemas de Informação do Centro
Universitário Unidade de Ensino Superior
Dom Bosco como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Me. Mauricio Jose
Morais Costa.

São Luís

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro Universitário – UNDB / Biblioteca

Oliveira, André de Katulica Rodrigues

As estratégias de TI verde frente aos objetivos do desenvolvimento sustentável: um estudo de caso comparativo dos impactos ambientais de empresas do ramo de tecnologia da informação. / André de Katulica Rodrigues Oliveira. __ São Luís, 2023.

52 f.

Orientador: Prof. Me. Mauricio Jose Morais Costa

Monografia (Graduação em Sistemas de informação) - Curso de Sistemas de informação – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2023.

- Tecnologia da Informação. 2. Impacto ambiental. 3. Estratégias. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDU 004.78:504

ANDRÉ DE KATULICA RODRIGUES OLIVEIRA

**AS ESTRATÉGIAS DE TI VERDE FRENTE AOS OBJETIVOS DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:** um estudo de caso comparativo dos
impactos ambientais de empresas do ramo de Tecnologia da Informação

Monografia apresentada ao Curso de
Sistemas de Informação do Centro
Universitário Unidade de Ensino Superior
Dom Bosco como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Sistemas de Informação.

Aprovada em: 05/12/2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Maurício José Morais Costa

Mestre em Cultura e Sociedade

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB)

Prof. Me. Donny Wallesson Dos Santos

Mestre em Cultura e Sociedade

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB)

Prof. Me. Rodrigo Monteiro De Lima

Mestre em Ciência da Computação

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB)

*Dedico a todos que me
incentivaram a nunca desistir.*

AGRADECIMENTOS

Gratidão a minha família por apoiarem as minhas decisões. Aos meus professores e orientadores ao longo do curso. Agradeço aos meus melhores amigos, Vitor, Thiago, Giulia, Arthur, Alexandre, João Felipe e Júlio por terem me ajudado de todas as formas possíveis. E finalmente, Yuri, meu maior apoio e incentivo durante todo esse tempo.

*“Our planet is a lonely
speck in the great
enveloping cosmic dark.
In our obscurity, in all
this vastness, there is
no hint that help will
come from elsewhere to
save us from
ourselves.”*

Carl Sagan

RESUMO

Este estudo explora estratégias de Tecnologia da Informação (TI) verde em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), buscando analisar como as estratégias de TI verde com foco na sustentabilidade, adotadas por empresas do ramo contribuem para alcançar os padrões das ODS. Através de pesquisas bibliográficas, o presente trabalho irá compreender de que maneiras essas empresas impactam o meio ambiente e como identificar esses impactos, além de comparar e analisar práticas destas empresas para uma possível redução destes impactos. Dentre as seis empresas escolhidas a fim de comparação, foi observado que a *Apple* é a empresa que se mostra em maior alinhamento com as ODS em contraposição a *Samsung*, que se mostrou a empresa com os maiores índices de emissão de carbono. A pesquisa esclarece que a integração de estratégias de TI verde não só fortalece a eficiência operacional, mas também desempenha um papel crucial no avanço dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, destacando-se como um componente fundamental na jornada rumo à sustentabilidade global.

Palavras-chave: TI verde. Servidores. Data center. Impacto ambiental. Consumo de energia

ABSTRACT

This study explores green Information Technology (IT) strategies aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs), aiming to analyze how sustainability-focused green IT strategies adopted by companies in the field contribute to meeting SDG standards. Through bibliographic research, this study aims to understand how these companies impact the environment and how to identify these impacts, as well as to compare and analyze these companies' practices for potential impact reduction. Among the six selected companies for comparison, it was observed that Apple shows greater alignment with the SDGs compared to Samsung, which exhibited the highest carbon emission rates. The research clarifies that the integration of green IT strategies not only strengthens operational efficiency but also plays a crucial role in advancing the Sustainable Development Goals, standing out as a fundamental component on the journey towards global sustainability.

Keywords: Green IT. Server. Data center. Environmental impact. Energy consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O modelo cliente-servidor.....	23
Figura 2 – Emissões de escopo 1,2 e 3.....	32
Figura 3 – Atividades de eficiência energética de data centers.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Aumento de usuários ativos na internet ao longo dos anos.....	20
Gráfico 2 – Consumo de energia por setor em um data center.....	25
Gráfico 3 – Participação de diferentes setores de TI no consumo de energia global.....	26
Gráfico 4 – Comparativo entre data centers de empresas de TI que mais emitem CO2.....	38
Gráfico 5 – Comparativo de PUE com e sem controle de aprendizado de máquina em data centers da DeepMind.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre empresas de TI por MtCO ₂ e e ESG Risk Rating.....	37
---	-----------

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGNU - Assembleia Geral das Nações Unidas

AWS - Amazon Web Services

CCF - Cloud Carbon Footprint

CDP - Carbon Disclosure Project

CO₂ - Dióxido de Carbono

CO₂e - Dióxido de Carbono Equivalente

EPA - Environmental Protection Agency

ESG - Environmental, Social and Corporate Governance

GCP - Google Cloud Platform

ICTs - Information and Communication Technologies

kWh - Quilowatt-hora

MtCO₂e - Megatonelada de dióxido de carbono equivalente

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - União das Nações Unidas

PUE - Power Use Effectiveness

REC - Renewable Energy Certificate

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

TI - Tecnologia da Informação

TWh - Terawatt-hora

UNDB - Unidade de Ensino Superior Dom Bosco

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

WRI - World Resources Institute

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Problematização.....	17
1.2 Justificativa.....	18
1.3 Objetivo Geral.....	18
1.4 Objetivos Específicos.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 Crescimento da necessidade de dados.....	20
2.2 Conceitos de data centers e servidores.....	21
2.2.1 Dinâmica de servidores.....	22
2.2.2 Consumo de energia.....	24
3 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E OS DESAFIOS GLOBAIS.....	27
3.1 Sustentabilidade e Tecnologia.....	29
3.1.1 Tipos de impacto ambiental gerados por empresas.....	31
4 PERCURSO METODOLÓGICO.....	34
4.1 Natureza da Pesquisa.....	34
4.2 Procedimentos Técnicos.....	34
4.3 Procedimentos de Análise.....	35
5 ESTUDO DE CASO COMPARATIVO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE EMPRESAS DO RAMO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO.....	36
5.1 Comparativo entre empresas.....	36
5.2 Medidas a serem tomadas acerca do impacto ambiental causado pelo uso de servidores.....	39
5.2.1 Empresas que buscam energia sustentável.....	42
5.3 Transparência.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
7 REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

Os grandes feitos e possibilidades que só podem ser alcançados através da tecnologia são comumente observados. No entanto, costuma-se fugir do conhecimento público que muito do uso que é feito diariamente pode possuir um custo ambiental relativamente alto. Junto com a constante popularização da internet e crescimento exponencial de usuários diariamente, a necessidade de manter servidores e data centers que possuem um consumo de energia significativo vem aumentando, atingindo um ponto em que esse consumo chega a bater 1,4% de toda a energia consumida no mundo.

Nesse sentido, destaca-se que muitos dos desafios da TI Verde atualmente consistem em fazer com que as grandes empresas adotem modelos e infraestrutura sustentável em prol da redução do impacto ambiental. Portanto, torna-se necessário que esses dados sejam de acesso e conhecimento público para que haja uma mudança. Através de pesquisas bibliográficas, o presente trabalho irá compreender de que maneiras essas empresas impactam o meio ambiente e como identificá-los, além de comparar e analisar práticas destas empresas para uma possível redução destes impactos.

Sabe-se que a internet é utilizada por cerca de 4 bilhões de pessoas no mundo, conforme dados do *The Carbon Footprint of the Internet (2021)*, e assim como diversos outros insumos que consumimos diariamente, a grande rede também é capaz de causar um impacto ambiental considerável. Considerando que em 2021 a porcentagem de pegada de carbono que é gerada por insumos de TI tais como aparelhos celulares e computadores, a internet e todos os seus sistemas de suporte chegou a representar 3.7% do total de toda a produção de gás carbônico do mundo, com previsão para dobrar até 2025 (*THE CARBON FOOTPRINT OF THE INTERNET, 2021*). Diante disso, pontua-se que o problema se dá a partir do fato de que o consumo desregulado de internet tende a passar despercebido pela maioria das pessoas devido a sua certa "invisibilidade", dificilmente sendo capaz de enxergar de fato como a internet e seus provedores podem ser capazes de afetar o meio ambiente em relação a outras áreas em que se pode apontar como as maiores causadoras de dano ambiental tais como a mineração, agricultura e transporte (*KAMP RAD, 2017*).

Devido a possibilidade da realização de atividades que demandam o uso de muitos dados como streaming de vídeo, jogos e aplicações de realidade virtual estarem cada vez mais acessíveis, existe a possibilidade de essas atividades atingirem um pico de tráfego de dados na internet, o que exigiria a construção de infraestrutura necessária para contemplar a necessidade de transmissão de dados demandados, aumentando o uso geral de energia a longo prazo, como informa a *Data Centres and Data Transmission Networks* (2022). Podemos considerar também, que o fato de que o 5G, *Internet of Things* (IoT) e o Metaverso trata-se de tecnologias em crescimento e, que por sua vez, exigem uma conexão em baixa latência, também há a tendência a aumentar a demanda por data centers que operam com um consumo de energia mais elevado (DATA CENTRES AND DATA TRANSMISSION NETWORKS, 2022).

Considerando que grande parte dos gastos da internet são devido a manutenção de servidores (THE CARBON FOOTPRINT OF THE INTERNET, 2021), é apenas natural que com o crescente aumento do uso e necessidade de servidores e circulação de dados que o consumo de energia possa tender a aumentar significativamente. Em 2020, o consumo de energia gerado pela transmissão de dados e servidores chegou a marcar 1% da transmissão mundial de gases de efeito estufa (DATA CENTRES AND DATA TRANSMISSION NETWORKS, 2022). Por ser um recurso valioso cujo uso é feito em escala global, torna-se necessário que este seja administrado de forma responsável, não só em como a maneira que tal energia é utilizada, mas também em aspectos físicos, como a produção de hardware que também é capaz de gerar um impacto ambiental muito grande (THE CARBON FOOTPRINT OF THE INTERNET, 2021). Portanto, torna-se evidente que a tecnologia da informação traz consigo uma grande quantidade de recursos que são capazes de agredir o ambiente de maneira grave.

1.1 Problematização

O problema da pesquisa se dá a partir do fato de que manter uma sociedade que demanda muito da circulação de dados possui um custo ambiental elevado e grande parte da população tende a ignorar esse problema, devido à dificuldade que existe em visualizar o consumo de energia gerado pelo simples ato de utilizar a internet. Muitas empresas responsáveis por fornecer uma grande

circulação de dados também ainda não adotaram práticas que sejam transparentes e ambientalmente amigáveis, o que pode se tornar um problema grave caso outras empresas também não se atentem ao caso. Mas afinal, quais ações diferem uma empresa que adota práticas consideradas sustentáveis, e o que empresas que ainda são insuficientes nesse aspecto podem melhorar?

1.2 Justificativa

Considerando a demanda cada vez maior por dados, o estudo se justifica a partir do fato de que a internet e mídias digitais possuem um alto potencial sustentável mostrado por algumas empresas como o Google, mas que ao mesmo tempo irão prejudicar o meio ambiente caso não ocorra o cuidado necessário para manter seus servidores.

1.3 Objetivo Geral

Analisar o impacto ambiental gerado por insumos de Tecnologia da Informação (TI) e estratégias de TI Verde empreendidas pelas empresas e sua efetividade na redução do impacto ambiental comparando-as umas com as outras.

1.4 Objetivos Específicos

- a. Contextualizar o contexto do Big Data, a complexidade dos dados no contexto emergente, bem como os desafios de uma agenda global;
- b. Discutir o impacto ambiental causado por data centers e servidores;
- c. Comparar as estratégias de transparência e as práticas das empresas de TI em prol da redução de seu impacto ambiental.

Diante de um mercado de demanda extremamente alta, é apenas natural que as empresas do ramo de tecnologia busquem por crescimento constante e exponencial, mas considerando também que certas práticas possam ser capazes de gerar um impacto ambiental considerável, a proposta deste trabalho visa apresentar conceitos, definições, um estudo de comparação entre as práticas adotadas na manutenção de servidores, mudança e visibilidade da causa da TI Verde, mostrando

medidas a serem tomadas acerca do impacto ambiental causado pelo uso de servidores.

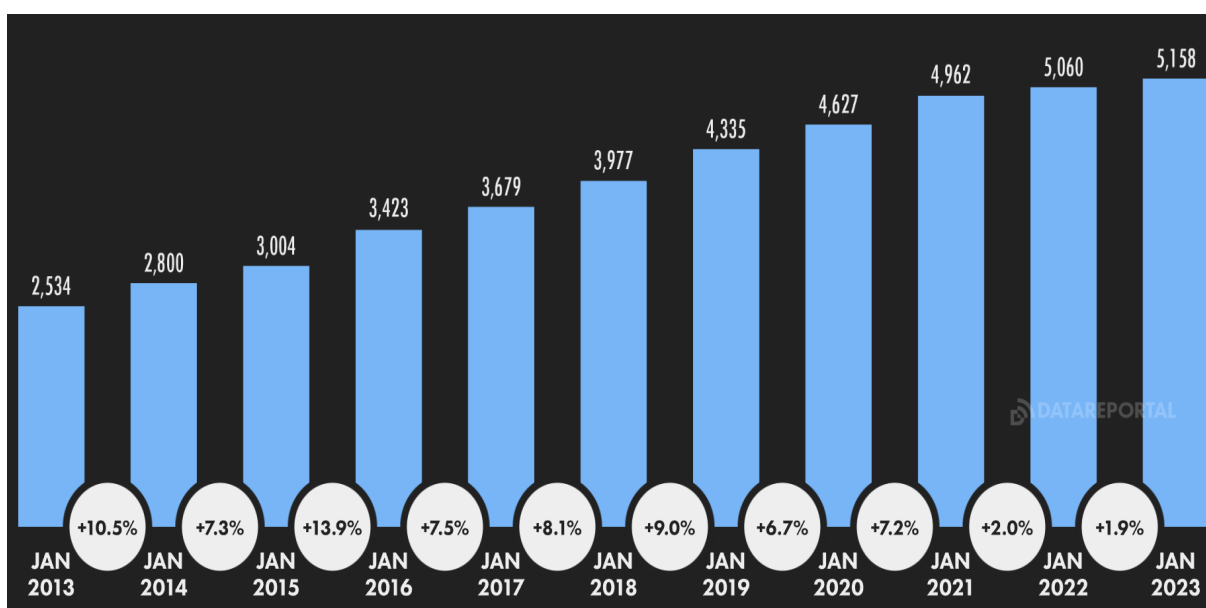
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para começar a analisar o impacto ambiental referente ao tráfego de dados online, é preciso traçar primeiramente alguns conceitos referentes à sua alta demanda e o seu custo de manutenção e execução.

2.1 Crescimento da necessidade de dados

De acordo com o estudo Digital 2023 Global Overview Report publicado pelo site *Data Reportal*, mais de 5 bilhões de pessoas atualmente possuem acesso à internet, sendo este número representante de um total de 63% da população mundial. Segundo essas estatísticas, podemos observar que a quantidade de usuários da internet cresce a cada ano, tendo dobrado em bilhões o número de pessoas ativas online nos últimos 10 anos. Esses dados são importantes, pois torna possível considerar o fato de que a demanda por dados e circulação de informações online também sofreu um aumento significativo, visto que quanto mais pessoas ativas na internet, maior a circulação de dados e a demanda por data centers e servidores maiores (KEMP, 2023).

Gráfico 1 - Aumento de usuários ativos na internet ao longo dos anos



Fonte: Data Reportal (2023)

De acordo com a pesquisa *Data Centres and Data Transmission Networks* realizada pela *Internet Energy Agency* (IEA), apesar de a demanda e uso de servidores ter crescido bastante desde 2010, o consumo de energia consumido não aumentou proporcionalmente a essa demanda, devido ao uso de hardware e resfriamento mais eficientes. No entanto, o crescimento acelerado da carga de trabalho realizado por esses grandes data centers acabou por gerar um aumento do consumo de energia com um aumento estimado de 10% a 30% por ano. O estudo também aponta que, além disso, o uso de energia elétrica tende a crescer nos próximos anos.

2.2 Conceitos de Data centers e servidores

Empresas ao redor do globo servem milhões de dados todos os dias para usuários de internet. Os *data centers* nada mais são do que o *back-end* do que diz respeito a toda a experiência do usuário online, sendo assim essencial para realização e fornecimento desses serviços digitais em tempo integral sem interrupções (SHARMA, 2022). Sendo assim, podemos considerar que atualmente os *data centers* são uma tecnologia importante para a alimentação da economia global, considerando que esses centros são responsáveis por guardar sistemas, equipamentos, dados e aplicações que hoje em dia são de suma importância para o funcionamento da sociedade como conhecemos (HARVEY, 2017). Mas afinal, o que exatamente é um *data center*?

A definição de um *data center* pode se dar como um espaço físico onde computadores são armazenados com segurança com o intuito de compartilhar e armazenar dados para a computação e sistemas de cliente (SHARMA, 2022). Um *data center* típico contém uma variedade de equipamentos de infraestrutura para alimentar essa estrutura, assim como servidores que fornecem o poder computacional, armazenamento e equipamentos de internet como roteadores para que seja feita a comunicação interna e externa entre servidores locais e online. Além disso, vale ressaltar a necessidade de haver uma estrutura de alimentação de energia considerando que toda essa estrutura necessita de bastante eletricidade para se sustentar (HARVEY, 2017).

Devido ao fato de o consumo de energia ser elevado, os servidores acabam produzindo bastante calor, fazendo com que os corredores atinjam temperaturas de

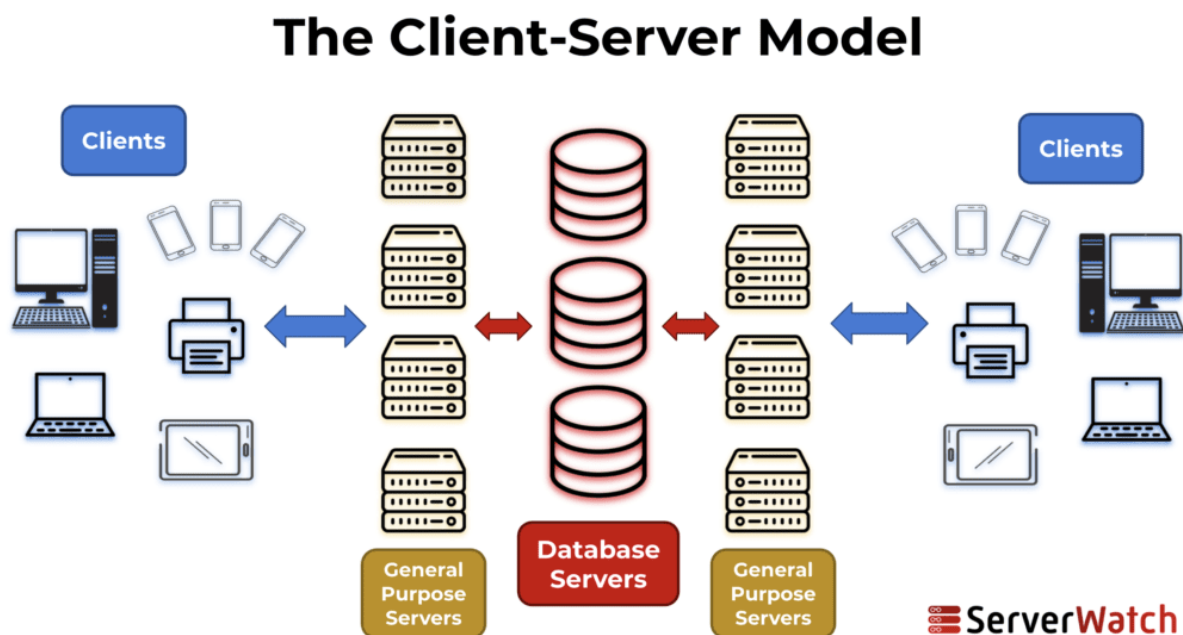
85 a 115 graus Fahrenheit – ou seja, 29 a 46 graus Celsius (MAHAN, 2023). Para contornar isso, existe também a necessidade de implementação de equipamentos de resfriamento que por sua vez tem o intuito de manter a temperatura dos servidores e *data centers* sem causar nenhum prejuízo aos equipamentos e garantindo que eles funcionem adequadamente (HARVEY, 2017).

2.2.1 Dinâmica de servidores

A maneira como os servidores fornecem informações é através do modelo de arquitetura cliente-servidor. Nesse modelo, o cliente nada mais é do que um programa que acessa um serviço alocado em um servidor enquanto o servidor em questão tem como funcionalidade atender a demanda de outros programas, sendo esses programas os clientes (TECH ENTER, 2019). No modelo cliente-servidor, o processamento da informação é basicamente dividido em módulos ou processos distintos. Neste modelo, o processo que fica sobre o encargo de fazer a manutenção da informação são os servidores, enquanto os clientes ficam responsáveis pela obtenção dos dados (MENDES, 2002).

Funcionalidades mais comuns e banais da internet como troca de mensagens, *e-mails* e acesso a um banco de dados são criadas com o modelo cliente-servidor como base. Podemos citar que um navegador *web* como Google Chrome, Safari ou Opera são programas cliente enquanto executados na máquina do usuário acessando informações armazenadas em um servidor *web* (MENDES, 2002). Desta forma, o cliente faz uma solicitação para um determinado serviço e o servidor por sua vez se encarrega de executar esse serviço, sendo o cliente *web* basicamente uma ponte enviando uma solicitação para um servidor *web* (TECH ENTER, 2019).

Figura 1 - O modelo cliente-servidor



Fonte: Ingalls (2021)

Segundo MENDES (2002), podemos citar que no modelo cliente-servidor as partes envolvidas nesse processo possuem as seguintes características:

- Cliente:
 - a. Inicia pedidos para o servidor;
 - b. Espera por respostas;
 - c. Recebe respostas;
 - d. Conecta-se a um pequeno número de servidores de uma só vez;
 - e. Normalmente interage diretamente com os servidores através de seu software aplicação específico, que lhe possibilita a comunicação com o servidor;
 - f. Utiliza recursos da rede
- Servidor:
 - a. Sempre espera por um pedido de um cliente;
 - b. Atende os pedidos e, em seguida, responde aos clientes com os dados solicitados;

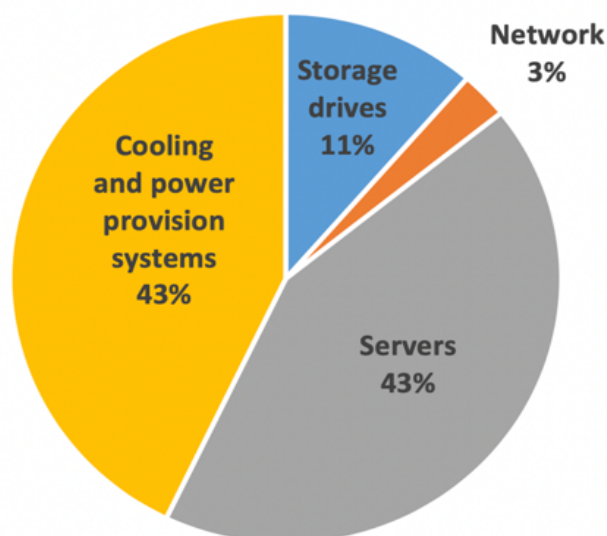
- c. Pode se conectar com outros servidores para atender uma solicitação específica do cliente; jamais podem se comunicar;
- d. Fornece recursos de rede;
- e. Normalmente interage diretamente com os usuários finais através de qualquer interface com o usuário;
- f. Estrutura o sistema

2.2.2 Consumo de energia

A pegada de carbono gerada por um *data center* é afetada por 3 pilares, sendo esses: consumo de eletricidade para sustentar os servidores; consumo de água para resfriá-los; e a vida útil do equipamento, que impacta na frequência de troca de equipamentos (LAVI, 2022). Segundo Mahan (2023), no que diz respeito a quantidade de kWh demandadas de um servidor, esse número pode depender bastante e existem variações de acordo com a demanda e a carga de trabalho. A média anual de energia consumida, no entanto, é de cerca de 1800 a 1900 kWh por ano, enquanto data centers costumam consumir cerca de 1000 kWh por metro quadrado, sendo isso cerca de 10 vezes o consumo de energia de uma casa americana.

Dentre as possíveis causas que podem fazer o consumo de energia ser tão elevado, pode-se considerar o fato de que o resfriamento pode chegar a ser o sistema que mais consome energia em um data center, chegando a 70% do total de energia consumido. Isso geralmente acontece devido a ineficiência dos sistemas de resfriamento (MAHAN, 2023). Sendo assim, pode-se observar que a maior parte do consumo de energia de *data centers* são de sistemas que demandam constante manutenção para que consigam se manter funcionando de maneira eficiente. Versões mais antigas de servidores e equipamentos de comunicação de rede também podem ser citadas como exemplo (MAHAN, 2023). O gráfico abaixo mostra a porcentagem que cada setor de um *data center* consome energia.

Gráfico 2 - Consumo de energia por setor em um data center

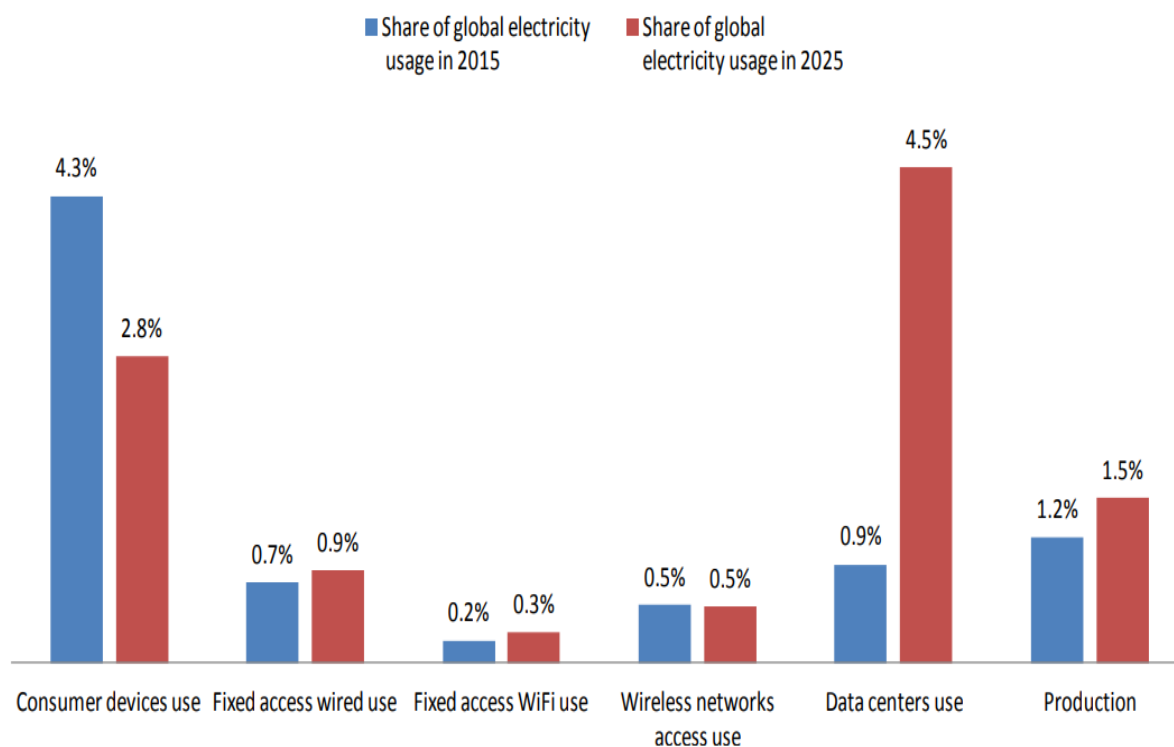


Fonte: Marcacci (2020)

Data centers consomem bastante energia e só tendem a crescer exponencialmente durante os próximos anos. Segundo Mahan (2023), se considerarmos o consumo de energia por data centers em escala mundial, é estimado que a transmissão de dados chegue próximo de 260 a 340 TWh, o que equivale a 1,4% da energia consumida no mundo inteiro. Data centers tendem a consumir bastante energia porque esse tipo de estrutura tem como função providenciar diversos serviços e suportes diferentes de uma vez, somando ao fato de que qualquer data center e suas estruturas são movidos a energia elétrica assim como todo o sistema de resfriamento (MAHAN, 2023). Considerando a quantidade de usuários que a internet precisa contemplar diariamente, é apenas natural que exista uma grande estrutura de data centers no mundo inteiro, que conseqüentemente precisarão de bastante energia para se tornarem viáveis e fornecer e armazenar a quantidade de dados necessária. O gráfico a seguir mostra o crescimento da participação do consumo de energia global por diferentes setores de TI.

Gráfico 3 - Participação de diferentes setores de TI no consumo de energia global

Share of different ICT Sectors of global electricity 2015-2025, Best case



Fonte: Anders (2017).

O custo elevado de energia elétrica também faz com que as empresas optem por alocar os seus grandes *data centers* em locais mais afastados por conta do custo reduzido cobrado pelo consumo de energia em determinadas áreas, podendo ser citado como exemplo o fato de que empresas grandes como a Dell, Microsoft e Yahoo possuam data centers na parte rural do estado de Washington, onde o preço é um dos mais baixos dos Estados Unidos custando cerca de 2,88 centavos de dólar por Quilowatt-hora (kWh). Além disso, isso se soma ao fato de que a região abriga duas usinas hidrelétricas que fornecem energia renovável para a região, fato que algumas empresas podem levar em consideração no momento da escolha de um local para abrigar o seu data center (HARVEY, 2017).

Ainda no que se diz respeito ao custo da energia elétrica, segundo a autora, as empresas também buscam por formas de tornar o consumo de energia mais eficiente. Parte desse esforço exige que haja uma classificação chamada de *Power*

Use Effectiveness (PUE), sendo um PUE abaixo de 2,0 uma ótima qualidade para um *data center* enquanto uma classificação próxima a 1,0 excepcional. Um PUE de nota 1,0 significa que não existe dispersão de energia e tudo que é fornecido está sendo utilizado para a realização do trabalho. O Google, por exemplo, possui data centers com um PUE médio de 1,12, enquanto o Facebook possui um data center em Oregon para ter um PUE de 1,07.

A questão do consumo de água é comumente ignorada quando se considera o consumo e o impacto ambiental de data centers e servidores. Por sua vez, a indústria de data centers está entre as 10 maiores consumidoras de água dos Estados Unidos e apesar disso, os provedores costumam não relatar o seu consumo de água na manutenção de data centers, o que pode ser considerado alarmante (LAVI, 2022). Lavi também aponta que a maioria das empresas enfrentam desafio similar quando se trata do tempo de vida de um servidor, muitas vezes desconsiderando o ciclo de vida útil dos materiais utilizados. Isso se torna preocupante, considerando que servidores demoram cerca de 3 a 5 anos para serem substituídos, o que acaba por gerar um pico de emissões nesse período. Sendo assim, isso é algo que deve ser levado em conta na hora de se medir o impacto ambiental causado por esses servidores.

3 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E OS DESAFIOS GLOBAIS

Em 2015, A Assembleia Geral das Nações Unidas (AGNU) sendo um dos principais órgãos da Organização das Nações Unidas (ONU), criou como parte da Resolução 70/1 um plano de ação chamado *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, e posteriormente encurtado para Agenda 2030 (UNITED NATIONS, 2015). O ponto principal desse acordo consiste em uma série de metas a serem cumpridas denominadas Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As ODS listadas pela Agenda 2030 são as seguintes:

- a. Objetivo 1: Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.
- a. Objetivo 2: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.

- b.** Objetivo 3: Garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos de todas as idades.
- c.** Objetivo 4: Garantir uma educação de qualidade inclusiva, equitativa e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
- d.** Objetivo 5: Alcançar a igualdade de gênero e capacitar todas as mulheres e garotas.
- e.** Objetivo 6: Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos.
- f.** Objetivo 7: Garantir o acesso a serviços acessíveis, fiáveis, sustentáveis e modernos energia para todos.
- g.** Objetivo 8: Promover o crescimento econômico sustentável, inclusivo, empregos produtivos e decentes para todos.
- h.** Objetivo 9: Construir infra-estruturas resilientes, promover a inclusão e a sustentabilidade da industrialização e promover a inovação.
- i.** Objetivo 10: Reduzir a desigualdade dentro e entre os países
- j.** Objetivo 11: Tornar as cidades mais humanizadas, inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
- k.** Objetivo 12: Garantir padrões sustentáveis de consumo e produção.
- l.** Objetivo 13: Tomar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.
- m.** Objetivo 14: Conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos.
- n.** Objetivo 15: Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos recursos terrestres, gerir as florestas de forma sustentável, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e perda de biodiversidade.
- o.** Objetivo 16: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para uma vida sustentável, proporcionar acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
- p.** Objetivo 17: Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a Parceria Global para o Desenvolvimento Sustentável.

Apesar de a AGNU ter traçado estes objetivos em 2015, o consumo e rotação de dados e conseqüentemente a pegada de carbono e consumo de energia aumentou significativamente. Como observado ao longo deste trabalho, devemos

considerar o fato de que as empresas de TI são responsáveis por uma parte significativa na crescente necessidade de consumo de energia global, e dessa forma contribuem para a mudança climática. A TI Verde por sua parte, traz consigo alguns benefícios que podem ser aplicados dentro das empresas para que o impacto ambiental gerado por esse tipo de prática seja de certa forma reduzido. Além da importância relacionada à mudança climática e o impacto ambiental de insumos de tecnologia, a TI Verde também existe com o intuito fazer com que as empresas do ramo estejam de acordo com as regulamentações do governo, considerando que atualmente existe pressão governamental e pública para que ocorra uma redução geral do impacto ambiental. Nesse caso, a TI Verde ajudaria o negócio a fazer um melhor uso de recursos, reduzindo desperdício (LUTKEVICH; MCLAUGHLIN, 2022).

3.1 Sustentabilidade e tecnologia

Lutkevich (2022) Descreve Green IT (*Green Information Technology*), ou TI Verde, como a prática de desenvolver e utilizar computação que seja sustentável. De acordo com o autor, a TI Verde tem como objetivo minimizar o impacto ambiental causado através de operações de TI a partir da manufatura, operação, design e disposição de produtos e alternativas de maneira amigável para o meio ambiente, sendo os motivos por trás da implantação de tais tecnologias a redução de materiais perigosos, a maximização do uso eficiente de energia durante a vida útil do produto e a promoção de biodegradabilidade de produtos datados ou sem uso.

Berkhout e Hertin (2001) dividem os impactos ambientais causados pelas ICTS em 3 categorias distintas:

- a. **Impactos de primeira ordem:** estes são causados diretamente pelo uso e produção de ICTS, sendo aparelhos, consumo de energia ou infraestrutura (servidores e data centers)
- b. **Impactos de segunda ordem:** referem-se ao impacto indireto relacionado a economia, processos de produção, distribuição etc. Pode ser citado como um exemplo de impacto positivo na desmaterialização de certos insumos de TI.
- c. **Impactos de terceira ordem:** consiste em efeitos indiretos ao ambiente baseados em aumento de consumo e maior crescimento econômico causado pelas ICTs, além de impactos no estilo de vida populacional.

O estudo conclui que as ICTs são capazes de gerar um profundo impacto ambiental tanto positivamente quanto negativamente. Além disso, é possível observar que também podem causar uma mudança no que diz respeito à mão de obra, capital e aumento de produtividade.

Lutkevich (2022) também lista as vantagens ambientais, sociais e de negócios da TI Verde da seguinte maneira:

- a. Emissões reduzidas:** A diminuição da emissão de carbono ajuda a melhorar o meio ambiente. Para reduzir o aquecimento global, as emissões devem ser mundialmente reduzidas a 7,6% todos os anos até 2030, de acordo com as Nações Unidas.
- b. Menos desperdício:** Reutilizar e reformar equipamentos de TI é uma opção ambientalmente mais amigável e potencialmente mais barata. Também faz parte da economia circular, o que elimina desperdício e melhora a resiliência da cadeia de suprimentos. Modelos de economia circular também envolvem servitização, onde as empresas vendem produtos como serviço e administram a manutenção.
- c. Períodos de manutenção estendidos:** Reutilizáveis, produtos de TI verde permitem períodos de manutenção mais longos e reposição de aparelhos menos frequentes.
- d. Economia de custos:** Utilizar tecnologia com consumo de energia mais eficiente ajuda o negócio a reduzir custos de energia e a pegada de carbono.
- e. Aumento de visibilidade:** Utilizando métodos de TI verde e reportando o seu uso, empresas podem servir de exemplo na indústria e realizar colaborações com outras empresas para iniciativas climáticas.
- f. Melhora na cultura corporativa:** TI verde demonstra para seus funcionários que eles trabalham em uma companhia ética, o que pode melhorar a moral dos colaboradores. O aumento da sustentabilidade a partir do uso de tecnologias verdes também apresenta oportunidades para jeitos mais eficientes de trabalhar.

- g. Design de produtos mais sustentáveis:** Ter objetivos de TI verde encoraja fornecedores a desenvolver tecnologias e abordagens que sejam mais sustentáveis.
- h. Reputação elevada:** O uso de tecnologias verdes cria uma boa imagem pública, o que melhora a percepção sobre a marca da empresa.
- i. Aumento da satisfação e lealdade do cliente:** Muitos consumidores querem fazer negócios com companhias socialmente responsáveis, fazendo com que a sustentabilidade seja um aspecto chave nesta estratégia.

3.1.1 Tipos de impacto ambiental gerados por empresas

Existem diferentes maneiras em que uma empresa é capaz de impactar o ambiente. Por esse motivo, o Protocolo GHG surgiu em 1990 a partir da *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* e a *World Resources Institute (WRI)*, que reconheceram a necessidade de criar um padrão internacional e reportar a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Com a parceria de empresas de grande porte como a BP e a General Motors, foi publicado em 1998 um relatório chamado “*Safe Climate Sound Business*”. O relatório sugere uma agenda de ação contra mudanças climáticas através da medida e padronização das emissões de GEE (“GHG Protocol”, 2023).

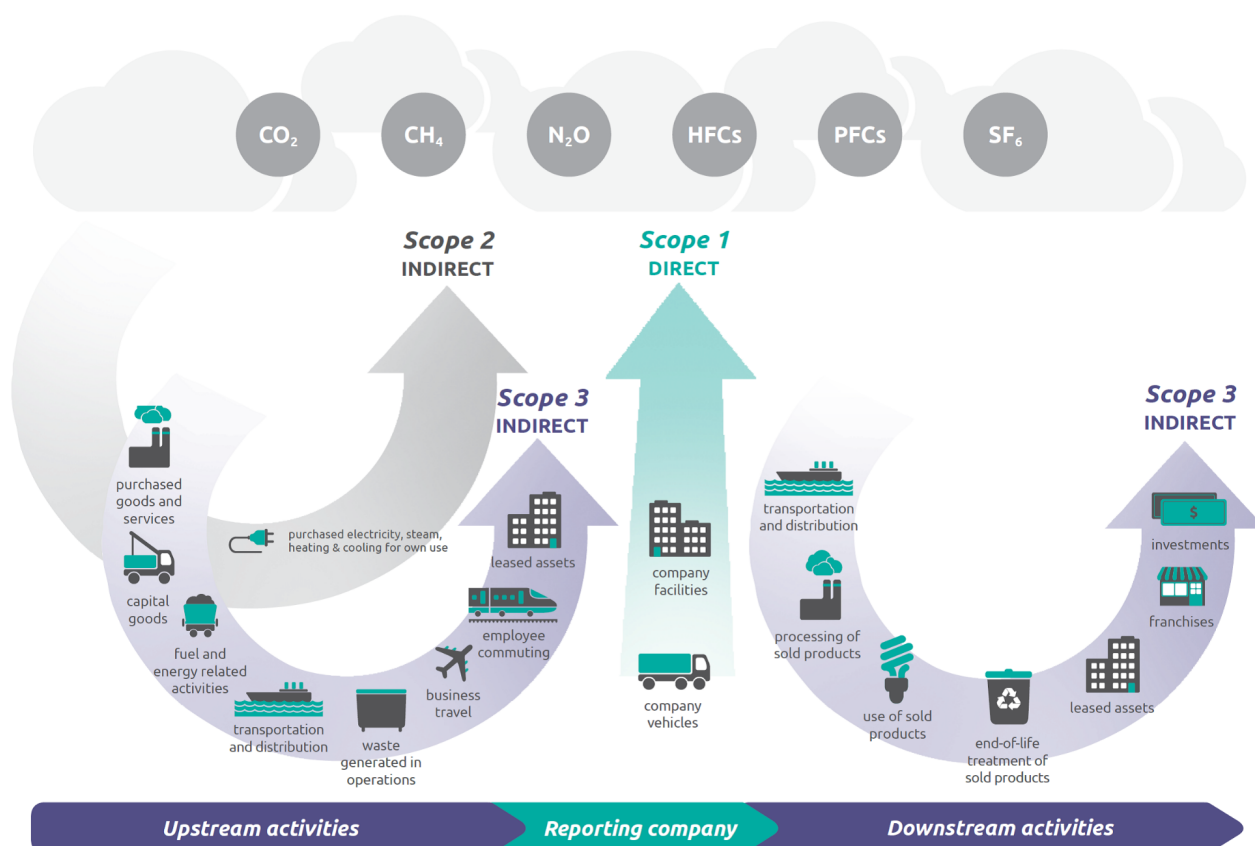
Em meados de 1997, os gestores seniores do WRI se encontraram com oficiais do WBCSD e concordaram em lançar uma parceria entre ONGs e empresas para abordar métodos padronizados de contabilidade de gases de efeito estufa (GEE). Essa parceria tinha como objetivo desenvolver métodos padronizados para contabilizar as emissões de GEE. Um grupo central de orientação foi formado, composto por membros de organizações ambientais e da indústria, incluindo *WWF*, *Pew Center on Global Climate Change*, *The Energy Research Institute*, *Norsk Hydro*, *Tokyo Electric* e *Shell*, para guiar o processo de desenvolvimento desses padrões. O Protocolo GHG vem criando padronizações, ferramentas e treinamento online que ajudam países e cidades a medir progresso em relação aos seus objetivos climáticos (“GHG Protocol”, 2023).

O protocolo divide as emissões de GEE em 3 diferentes escopos. As emissões de escopo 1 são emissões originadas diretamente por fontes controladas

pela organização, podendo ser citado como exemplo emissões associadas à empresa, assim como veículos e instalações. Enquanto isso, emissões de escopo 2 estão associadas a emissões indiretas de gases efeito estufa como a compra de eletricidade, vapor, calor e resfriamento, e emissões de escopo 3 são o resultado de atividades que não necessariamente são de posse ou controle da empresa em questão, mas que ainda assim a organização interfere indiretamente em sua cadeia de valor (“Scope 1 and Scope 2 Inventory Guidance | US EPA”, 2020).

Esses dados são importantes para dar uma visibilidade acerca das diversas formas em que uma empresa pode impactar o meio ambiente, principalmente quando se é considerado empresas como a *Amazon*, que além de fornecer serviços digitais e de hospedagem, também é proprietária de um extenso sistema de distribuição dos mais diversos tipos de produto mundialmente. Outras empresas como Apple e Samsung também distribuem software e hardware em escala global. A figura abaixo exemplifica maneiras com que diversas atividades de uma empresa podem emitir poluentes nos escopos 1, 2 e 3.

Figura 2 - Emissões de escopo 1, 2 e 3



Diante do exposto, pode-se afirmar que é importante reconhecer que a tecnologia precisa desempenhar um papel significativo na busca por soluções sustentáveis, permitindo avanços em energia limpa, eficiência operacional e conscientização ambiental. Contudo, essa união entre tecnologia e sustentabilidade demanda um compromisso contínuo com práticas responsáveis, regulamentações éticas e um foco constante na minimização do impacto ambiental. Nesse sentido, a integração de estratégias de sustentabilidade no desenvolvimento tecnológico é essencial para um futuro em que a inovação coexista com a preservação ambiental.

4 PERCURSO METODOLÓGICO

4.1 Natureza da Pesquisa

A metodologia é essencial para pesquisas científicas. Ela é o guia que garante a precisão e validade dos resultados. Ao estabelecer procedimentos e técnicas claras, a metodologia possibilita a coleta ordenada de dados e a análise consistente, minimizando vieses e fortalecendo a confiabilidade das descobertas científicas.

O trabalho em questão constitui um estudo de natureza básica. Isto é, lida com conceitos amplos, visando criar novos conhecimentos benéficos para o progresso científico, sem sua aplicação prática (PRODANOV, 2013). Ao longo do trabalho foram realizadas pesquisas através de diferentes relatórios para obter gráficos e tabela a fim de comparar empresas do ramo de tecnologia da informação.

Por conta destes aspectos, o presente trabalho também pode ser caracterizado como uma pesquisa descritiva. Segundo Prodanov (2013), esse tipo de pesquisa consiste no registro e na descrição objetiva dos fatos observados, sem intervenção do pesquisador. Seu objetivo é retratar as características de uma população ou fenômeno, além de estabelecer relações entre variáveis. Esse tipo de pesquisa emprega técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionários e observação sistemática, e geralmente se manifesta na forma de levantamentos. O trabalho também aborda essas pesquisas realizadas de forma que não tenha nenhuma interferência do pesquisador na manipulação dos dados obtidos, fazendo assim, apenas uma análise e interpretação de fatos ocorridos.

Apesar de se basear fortemente em dados em forma de números. As pesquisas realizadas exploram as suas interpretações e significados, usando o ambiente natural como fonte de dados, analisam os dados de forma indutiva, focando no seu significado no contexto em que está inserido. Seguindo assim, os conformes de uma pesquisa qualitativa descrita por Prodanov (2013).

4.2 Procedimentos Técnicos

Pesquisa bibliográfica é um tipo de delineamento, isto é, o planejamento abrangente da pesquisa, incluindo a estruturação, a previsão da análise e

interpretação dos dados coletados, levando em conta o contexto da coleta e os métodos de controle das variáveis em jogo. A pesquisa bibliográfica utiliza materiais já publicados, como livros, artigos e internet, para explorar tudo que foi escrito sobre um tema específico, atentando-se à veracidade e confiabilidade das fontes utilizadas (Prodanov, 2013).

A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir de relatórios públicos das empresas *Sustainalytics*, *Climatiq* e *ElectronicsHub* que consideram o *Environmental, Social and Governance* (ESG) como parâmetros ambientais e sociais com o objetivo de comparar os impactos ambientais de empresas do ramo de tecnologia da informação. Dentre as diversas empresas disponíveis, foram selecionadas as 5 maiores empresas do ramo, sendo estas: *Google*, *Amazon*, *Apple*, *Microsoft* e *Meta*. Além destas empresas, foi também avaliada a *Samsung*, com a razão de comparar com as cinco maiores, por ser uma das empresas que mais possui números expressivos.

Esses dados foram reorganizados em formato de gráficos e tabelas para melhor visualização destes. Demais informações acerca do consumo de energia dos data centers das empresas analisadas, assim como informações gerais sobre transparência e práticas costumeiramente utilizadas para mascarar o verdadeiro impacto ambiental, foram obtidas através do website da IEA. Portanto, trata-se de um estudo de caso comparativo focado na análise de semelhanças e diferenças. Esse método compara elementos para identificar similaridades e esclarecer discrepâncias e deduzir elementos constantes (Prodanov, 2013).

4.3 Procedimentos de Análise

A análise qualitativa proposta envolve uma comparação entre diversos parâmetros, incluindo o ESG Risk Rating, as emissões totais de carbono e os relatórios anuais de cada empresa. Considerando esses diferentes indicadores, será possível identificar e avaliar os avanços realizados por cada organização no que diz respeito às questões ambientais. A análise desses dados permitirá não apenas entender o panorama atual de cada empresa, mas também identificar tendências entre as ações proclamadas nos relatórios e os resultados reais em termos de redução de emissões e esforços para atingir as metas da Agenda 2030.

5 ESTUDO DE CASO COMPARATIVO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE EMPRESAS DO RAMO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO

5.1 Comparativo entre empresas

Uma maneira de comparar empresas entre si é através do conjunto de padrões chamado *Environmental, Social and Governance* (ESG). O ESG é principalmente utilizado por investidores socialmente conscientes que buscam rastrear investimentos em potencial e utilizam como base critérios ambientais e sociais. Para avaliar uma empresa com base nos critérios de ESG, os investidores analisam uma ampla gama de comportamentos e políticas. No que se refere a questão ambiental, pode ser analisado políticas climáticas corporativas, uso de resíduos, poluição, preservação de recursos naturais e tratamento de animais, fora os riscos ambientais que uma empresa possa enfrentar e como está sendo gerenciado esses riscos. Esses riscos podem incluir emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa, manutenção de resíduos tóxicos e conformidade com regulamentações ambientais (“What Is Environmental, Social, and Governance (ESG) Investing?”, 2023).

A partir de dados públicos de ESG, a *EletronicsHub* analisou relatórios das 100 maiores empresas de tecnologia com o intuito de comparar a emissão direta e indireta de carbono de cada uma delas. Esses dados incluem, além do total de emissões geradas por cada empresa em 2021, um comparativo dessas emissões por funcionários ativos e emissões por milhão de dólares de receita em milhões de toneladas de equivalência em dióxido de carbono (MtCO₂e)(NAVARRO, 2023).

Considerando a importância de padrões de ESG para atrair a atenção de possíveis investidores, empresas como a *Sustainalytics* fornecem serviços como o *ESG Risk Ratings*. Tal serviço tem como objetivo ajudar esses possíveis investidores além da própria empresa em questão a identificar questões baseadas nos critérios de ESG que apresentam risco material significativo. De acordo com a nota recebida, a empresa em questão entrará em uma das cinco categorias representadas pelo nível de risco material oferecido. Notas de 0 - 10 representam risco negligenciável, notas de 10 a 20 representam baixo risco, notas entre 20 e 30 representam médio

risco, notas entre 30 e 40 representam alto risco e notas maiores que 40 representam risco severo (SUSTAINALYTICS, 2021).

Baseado no ESG Risk Rating e nos dados obtidos pela *EletronicsHub*, foi montado a seguinte tabela a fim de comparar o impacto ambiental causado pelas 5 maiores empresas do ramo de tecnologia (Amazon, Apple, Google, Meta, Microsoft), juntamente da Samsung.

Tabela 1 - Comparativo entre empresas de TI por MtCO₂e e ESG Risk Rating

EMPRESAS	EMISSIONES DE CO ₂ (MtCO ₂ e)	EMISSIONES DE CO ₂ POR FUNCIONÁRIO (MtCO ₂ e)	EMISSIONES POR 1 MILHÃO DE DÓLARES DE RECEITA (MtCO ₂ e)	ESG RISK RATING
AMAZON	16.180.000	10.62	32.22	30.6 (ALTO RISCO)
MICROSOFT	4.868.901	22.03	23.98	15.2 (MÉDIO RISCO)
META (FACEBOOK)	3.135.000	37.52	26.25	N/A
ALPHABET (GOOGLE)	6.621.312	38.05	23.47	24.1 (MÉDIO RISCO)
APPLE	1.058.446	6.87	N/A	17.2 (BAIXO RISCO)
SAMSUNG	20.170.000	172.52	80.61	18.9 (BAIXO RISCO)

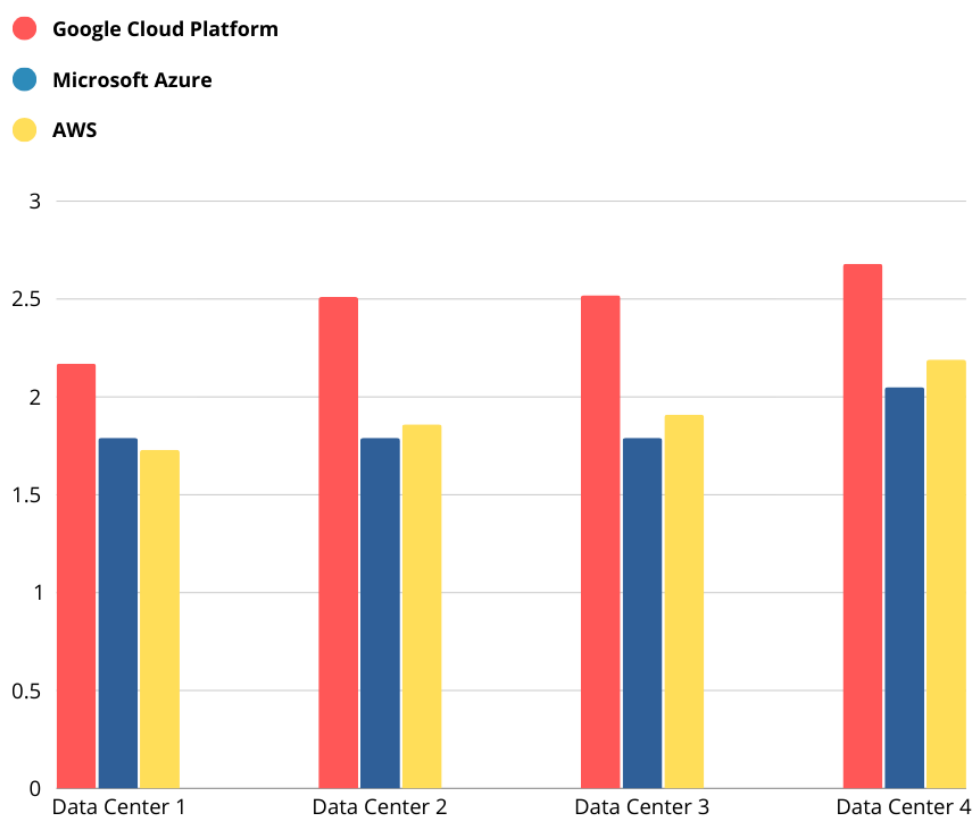
Fonte: Sustainalytics e Navarro (2023)

A comparação dessas empresas com a *Samsung* é interessante devido ao fato de que esta é a empresa que produz mais emissões de carbono em relação as 100 outras empresas de tecnologia que fizeram parte da pesquisa da *EletronicsHub*, e mesmo não fazendo parte das cinco maiores empresas apresentou níveis alarmantes de emissões. A *Amazon* também se mostrou uma das empresas que mais emite carbono com seus 16,2 milhões de toneladas métricas de CO₂e. Apesar da promessa feita em 2019 pelo CEO da *Amazon* de reduzir drasticamente as emissões e chegar à neutralidade em emissões de carbono até 2040, a pegada de carbono da empresa cresceu cerca de 18% em 2021, devido ao aumento da demanda por seus serviços e produtos da empresa impulsionados pela pandemia do Covid-19 (NAVARRO, 2023).

Com o intuito de avaliar de maneira estimada o impacto ambiental de 3 grandes empresas de tecnologia, foram utilizados dados gerados a partir de uma

ferramenta de código aberto desenvolvida pela *Cloud Carbon Footprint* (CCF) e disponibilizada através da API da *Climatiq* com o intuito de estimar as emissões de carbono de data centers de acordo com o densidade de carbono no local. A partir destes dados, as seguintes tabelas foram construídas considerando os quatro data centers com maior intensidade de emissões em gramas de CO₂e por hora das maiores provedoras de nuvem, sendo estas: *Amazon Web Services* (AWS), *Microsoft Azure*, e *Google Cloud Platform* (GCP).

Gráfico 4 - Comparativo entre data centers de empresas de TI que mais emitem CO₂.



Fonte: Adaptado de Arbabzadeh (2022)

A partir deste gráfico é possível observar que a GCP possui os *data centers* que mais emitem CO₂e em relação aos seus concorrentes. Estes dados não necessariamente indicam que qualquer uma dessas empresas está atrasada ou adiantada em relação às emissões de carbono. Inclusive, na realidade retratam apenas uma pequena amostra da vasta quantidade de *data centers* que cada um desses provedores possui. No entanto, é visível que as regiões em que a maioria

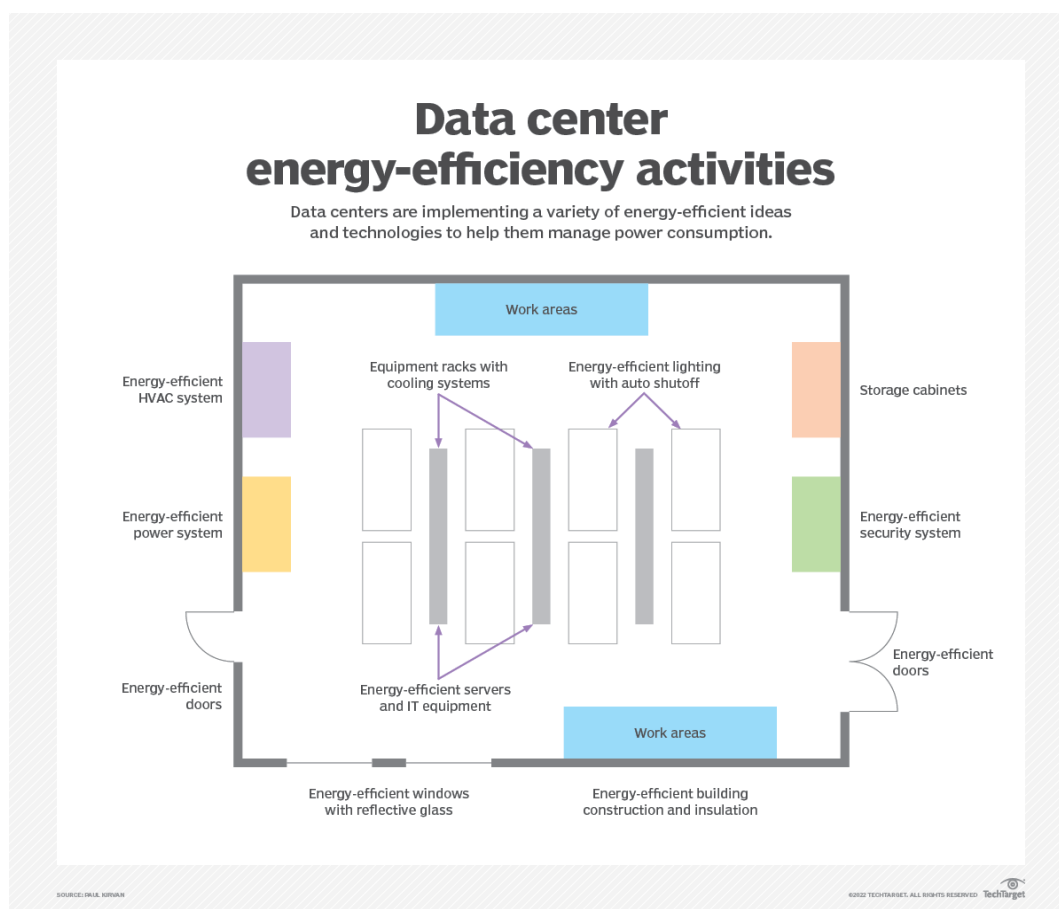
dos *data centers* que emitem mais CO₂ e são as que mais sofrem com os impactos ambientais gerados por essas emissões e este fato deve ser levado em conta.

5.2 Medidas a serem tomadas acerca do impacto ambiental causado pelo uso de servidores

Para mitigar o impacto ambiental causado pelos servidores, são necessárias medidas direcionadas à eficiência energética, ao gerenciamento e utilização de fontes de energia renovável. A busca por estratégias que minimizem o consumo energético dos servidores, como a virtualização e consolidação de servidores, além do uso de tecnologias mais eficientes, torna-se prioritária.

Para suportar a alta demanda, algumas empresas já começaram a investir em otimização e arquiteturas mais modernas. *Data centers* mais modernos tendem a ser baseados em *cloud*, virtualização e redes definidas por *software*. Uma estrutura moderna consiste de data centers físicos, ambientes híbridos e *multicloud*, o que permite que a empresa tenha mais flexibilidade no que diz respeito aos picos de rede e alta demanda (“What is a Data Center?”, 2016). A figura abaixo representa atividades de eficiência energética que podem ser aplicadas em data centers.

Figura 3 - Atividades de eficiência energética de data centers



Fonte: Lutkevich (2022).

Devido ao constante progresso dos fabricantes de TI em construir estruturas mais eficientes, o consumo de energia foi capaz de não subir tanto, considerando o crescimento exponencial da demanda por dados. Um dos fatores que fez com que isso tenha ocorrido foi o crescimento no uso de softwares de virtualização de servidores, que nada mais é do que o processo de dividir um servidor físico em servidores virtuais isolados via software (“What is Server Virtualization? | VMware Glossary”, 2022), o que faz com que múltiplas aplicações possam rodar em um único servidor, resultando assim em uma redução significativa na intensidade do consumo de energia consumida por cada aplicação (MARCACCI, 2020).

Lutkevich (2023) descreve algumas das medidas a serem tomadas em prol da redução do impacto ambiental de ativos de TI:

- a. **Medir o impacto direto:** Sistemas de TI são complexos e administrar seus requerimentos só é possível através de monitoramento. Ferramentas de monitoramento são utilizadas para conseguir informações acerca do uso de

energia e métricas de sustentabilidade. Pode ser citado, como exemplo, companhias que utilizam sensores que sejam capazes de medir o seu PUE e a emissão de gases de efeito estufa. Provedores cloud oferecem ferramentas para rastrear o consumo de energia que pode ser acessado através de dashboards.

- b. Medir impacto indireto:** Quando medida a emissão de gás carbônico, as empresas devem considerar a sua cadeia de produção completa, incluindo a preocupação ecológica dos fornecedores e parceiros de negócios. Administradores de TI podem checar os níveis de sustentabilidade de outras empresas através de divulgações como CDP (Carbon Disclosure Project). Somando a isso, empresas como Sustainalytics fornecem ferramentas para medir a pegada de carbono e outras métricas ambientais baseados na pontuação de ESG (Environmental, social, and corporate governance) obtido através de relatórios públicos e outros dados.
- c. Abraçar o trabalho híbrido e remoto:** Trabalhar remotamente diminui a quantidade de emissões de deslocamento para um escritório e os requisitos de energia em instalações de escritório.
- d. Utilizar virtualização:** Virtualização economiza energia, diminuindo o número de servidores físicos necessários.
- e. Reciclar aparelhos eletrônicos:** A EPA fornece uma lista de recicladores de eletrônicos certificados que atendem a altos padrões ambientais e gerenciam com segurança eletrônicos usados.
- f. Utilizar recursos de gerenciamento de energia:** Discos rígidos, monitores, além de outros componentes e dispositivos podem ser configurados para desligar após um determinado período de inatividade para reduzir o consumo de energia.
- g. Adote fontes alternativas de energia:** O resfriamento geotérmico, assim como a energia eólica e hidrelétrica, são alternativas mais ecológicas se comparado com fontes tradicionais de energia baseadas em combustíveis fósseis para alimentar data centers.
- h. Envolver-se no design verde:** Produtos otimizados para economia circular economizam energia, reduzem o lixo eletrônico e têm vida útil mais longa.

Pode-se citar também o uso de inteligência artificial (IA) como um dos possíveis aliados em prol da redução do impacto ambiental gerado através do uso

de servidores. A IA permite que algoritmos assumam um papel de gerência de infraestrutura, mantendo o controle na distribuição de energia, eficiência de resfriamento, carga de trabalho do servidor e ameaças virtuais em tempo real para fazer ajustes eficientes de maneira automática (ROCHLIN, 2022) e, a partir disso, realocar recursos subutilizados e detectar possíveis componentes de falha e recurso.

5.2.1 Empresas que buscam energia sustentável

De acordo com o relatório de progresso ambiental da *Apple* de 2023, em abril de 2020 a empresa conseguiu alcançar 100% de uso de energia renovável em suas instalações, atingindo a neutralidade de carbono e eficiência no consumo de energia, garantindo compensações de carbono de alta qualidade para demais emissões, mantendo o consumo de energia constantemente monitorado e conduzindo auditorias para investigar oportunidades para trabalhar esta questão de maneira mais eficiente (“Apple Environmental Progress Report”, 2023). A empresa também tem como objetivo alcançar neutralidade na emissão de carbono até 2030 e afirma que 100% dos *data centers*, lojas e escritórios são movidos completamente por fontes renováveis de energia. O relatório também cita que os data centers possuem monitoramento e melhorias constantes no que diz respeito a eficiência do sistema de resfriamento dos servidores.

A partir deste fato, foi possível maximizar a quantidade de servidores disponíveis e a otimização do consumo de energia, graças ao desenvolvimento e implementação de servidores com design próprio com foco em eficiência energética e de computacional, o que acabou por resultar em uma economia de 56,7 milhões de kWh por ano. Anteriormente, um esforço foi realizado para que todos os servidores requeressem fontes de alimentação de alta eficiência. Este esforço acabou por ajudar a *Apple* a superar os requisitos de eficiência para a certificação *ENERGY STAR*, que se aplica para espaços especialmente designados e equipados para atender a necessidade de equipamentos de computação de alta demanda (“ENERGY STAR”, 2018), o que auxiliou a empresa a economizar mais de 4 milhões de kWh por ano em economia de energia (“Apple Environmental Progress Report”, 2023).

Outra estratégia importante adotada pela *Apple* diz respeito ao monitoramento de energia. Segundo o relatório, a empresa monitora o desempenho

e performance fazendo ajustes necessários, citando como exemplo o fato de que no campus mais recente em Austin a empresa instalou um sistema de ar condicionado refrigerado a base de água ao invés de refrigerado a ar por conta da sua maior eficiência, condições de localização, temperatura local, iluminação e umidade do ambiente, considerando que o sistema de refrigeração é abastecido com água reciclada e também será utilizado para descargas de vaso sanitário (“Apple Environmental Progress Report”, 2023). Considera-se que o reconhecimento e medição para a manutenção do desempenho energético é de suma importância para manter a eficiência energética da instalação, para que desta forma medidas corretivas para a restauração da eficiência do sistema possam ser tomadas. Por fim, a empresa também possui uma equipe de funcionários dedicada a obter resultados de eficiência energética.

Tais funcionários ocupam instalações em toda a empresa e identificam oportunidades de eficiência e posteriormente coloca-as em prática, tornando a *Apple* capaz de evitar o consumo de 69,4 milhões de kWh de eletricidade e cerca de 4 milhões kWh de gás natural. Essas novas iniciativas reduziram o uso total de energia em 4% nos edifícios da empresa, incluindo data centers, e evitarão 27.500 toneladas adicionais de CO₂ por ano (“Apple Environmental Progress Report”, 2023). Todos os dados fornecidos pelo relatório foram assegurados pelas organizações de pesquisa *Apex* e *Fraunhofer Institute*.

Enquanto isso, o *Google* vem utilizando em seus data centers tecnologia de machine learning da DeepMind, uma empresa adquirida pela *Google* cujo o foco se enquadra em desenvolvimento e pesquisa de inteligência artificial e *machine learning*, e com isso foram capazes de reduzir o percentual de energia consumida em 40% (EVANS, 2016). Considerando que se trata de uma das mais relevantes empresas de tecnologia do mundo e a complexidade e tamanho dos data centers da empresa, é possível considerar essa redução um grande feito e um enorme passo adiante. Essas implicações não são significativas somente para o *Google*, um aumento drástico na eficiência dos *data centers* também ajudaria empresas que dependem dos serviços de nuvem do *Google*, além de naturalmente provocar uma redução nas emissões totais de gás carbônico, mostrando assim, que *machine learning* pode ser uma ótima maneira de reduzir o impacto ambiental gerado por esses servidores (EVANS, 2016).

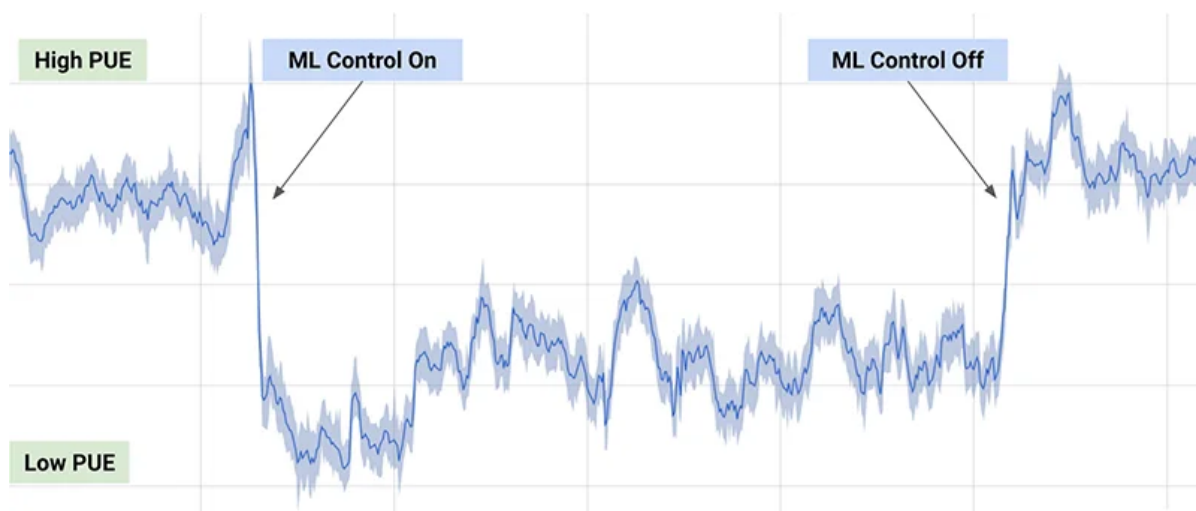
Conforme foi escrito em um artigo publicado no blog oficial do *Google* e escrito por Rich Evans e Jim Gao em 2016, ambientes dinâmicos como data centers são especialmente difíceis de operar pelos seguintes motivos:

- a. O equipamento, a maneira como é operado e a maneira como eles interagem pode ser muito complexa, operando de forma não linear;
- b. O sistema pode não ser capaz de se adaptar de maneira rápida a mudanças internas e externas (como o clima);
- c. Cada data center tem uma arquitetura única, conseqüentemente, um modelo para um sistema pode não ser aplicável para outro.

Para solucionar esse problema, a *DeepMind* começou a aplicar *machine learning* em seus próprios data centers para posteriormente começar a trabalhar com os do *Google*. Utilizando o sistema de redes neurais treinadas em diferentes cenários e parâmetros em seus data centers proprietários, a *DeepMind* foi capaz de desenvolver um *framework* adaptativo para entender melhor a dinâmica dos *data centers* em prol de melhorar a eficiência. Esse feito foi atingido utilizando o histórico de dados como temperatura e consumo de energia coletados por milhares de sensores dentro do data center para o treinamento da rede neural.

A *DeepMind* treinou as redes neurais para atingirem níveis normais de PUE, em conjunto com duas redes neurais, com o intuito de prever futuras temperaturas e pressão ao data center para os 60 minutos seguintes. Essas previsões têm o intuito de simular o que seriam as ações recomendadas para que o PUE não atinja níveis maiores do que o desejado (EVANS, 2016). O gráfico abaixo demonstra um dia normal de testagem com o controle por *machine learning* ligado e desligado.

Gráfico 5 - Comparativo de PUE com e sem controle de aprendizado de máquina em data centers da DeepMind



Fonte: Evans (2016)

Os impactos ambientais gerados pelos servidores representam um desafio crucial no panorama da sustentabilidade digital. Enquanto a conscientização sobre esses impactos cresce, a busca por soluções sustentáveis se torna mais premente. A pesquisa contínua e o desenvolvimento de práticas eficientes de gerenciamento de energia e resfriamento, juntamente com o avanço em fontes de energia renovável e infraestrutura de maior eficiência, são passos críticos para mitigar o impacto ambiental dos servidores e garantir a sustentabilidade no setor de tecnologia.

5.3 Transparência

Dados da IEA mostram que a *Apple*, *Google* e *Meta* compraram ou geraram eletricidade renovável o suficiente para atingir a meta de 100% do consumo de energia das suas operações em 2021, primariamente no que diz respeito ao consumo de energia por data centers, consumindo 2.8, 18.3 e 9.4 TWh, respectivamente. Enquanto isso, a *Amazon* consumiu 30.9 TWh, sendo 85% dessa energia renovável, através de suas operações em 2021, pretendendo atingir 100% até 2025. Apesar de algumas operadoras de internet como a *Tim* e a *T-Mobile* atingirem 100% do consumo de energia renovável, a maioria das operadoras de internet estão um pouco atrás no que diz respeito à operação e aquisição de energia renovável. Se comparado com data centers, centros operacionais de redes de

telecomunicações são espalhadas por vários locais e sendo assim, muito inflexíveis a reposicionamento, o que acaba por resultar em um desafio grande para essas empresas se adequarem à mudança.

Dessa forma, pode ser observado que muitas destas empresas foram capazes de atingir altos índices de aquisição e produção de energia renovável. No entanto, segundo a IEA, atingir 100% da demanda anual com negociações, compras e certificados de energia renovável ainda assim não significa que os data centers sejam realmente alimentados por fontes renováveis de energia exclusivamente visto que a variabilidade das fontes eólica e solar pode não corresponder 100% ao perfil demandado pelo data center, visto que a energia renovável pode ser comprada de uma região diferente de onde a demanda está localizada. Isso faz com que os certificados de energia renovável não sejam uma garantia completa de que isso levará a produção de mais desse tipo de energia, assim acabando por gerar um resultado inflado (IEA, 2022).

De acordo com Arbabzadeh (2022), grandes empresas de tecnologia em nuvem dizem ser alimentadas por energia verde, mas na realidade dependem fortemente de compensação para essas emissões. Organizações ligadas a questões ambientais, sociais e de governança criticam fortemente os provedores que mascaram o seu real consumo de energia utilizando uma abordagem baseada em mercado quando reportam emissões de escopo 2. Essa abordagem consiste em estimar as emissões com base na eletricidade que uma empresa compra, o que não necessariamente é o mesmo relacionado ao quantitativo de eletricidade gerada pela rede local. Por exemplo, se a rede local for alimentada por combustíveis fósseis, a empresa efetivamente usará esse tipo de energia na realidade.

O verdadeiro impacto do carbono e do uso de eletricidade pode ser distorcido pelo provedor, que pode estar comprando contratos de energia renovável fora do local e utilizando de instrumentos negociáveis como Certificados de Energia Renovável ou Renewable Energy Certificate (REC). Cada REC certifica a posse de uma hora de megawatt de eletricidade gerada a partir de uma fonte renovável. O uso de RECs pode fazer com que o método baseado no mercado pareça neutro em carbono, o que pode acabar não representando a verdade. Segundo a autora, fazer uso de RECs para alcançar a tão estimada taxa zero de emissão enquanto ainda mantém fontes de emissão de carbono é uma forma de mascarar esse uso por parte da empresa e não reduzir efetivamente o impacto ambiental gerado por suas

práticas empresariais. A autora também sugere que a mudança só viria em forma de data centers que façam uso 100% de energia renovável sem qualquer uso de combustíveis fósseis.

O fato de que provedores de nuvem tem mostrado dificuldade em determinar a melhor forma de diminuir suas emissões de maneira eficiente considerando que muitos dados providos carecem de disponibilidade e transparência, faz com que esses provedores sejam cada vez mais cobrados para tomar uma atitude a respeito. Isso é particularmente verdade para a *AWS*, *Azure* e *Google Cloud*, que recentemente começaram a compartilhar esse tipo de dado com os seus clientes (“Measuring greenhouse gas emissions in data centres: the environmental impact of cloud computing | Insights & Sustainability | ClimaTiq”, 2022).

Foi verificado que a *Apple*, dentro das empresas analisadas, se mostrou como sendo a empresa que menos impacta o ambiente negativamente, com emissões de 1.058.446 MtCO₂e no total, com 6.87 MtCO₂e emitidos por funcionário na empresa, possuindo também um *ESG Risk Rating* de 17.2, considerado baixo. Por outro lado, a *Samsung* se mostrou com maiores índices de emissões chegando a 20.170.000 MtCO₂e, com 172.52 MtCO₂e por funcionário, quase 20 vezes a quantidade de emissões da *Apple*.

Vale ressaltar as estratégias abordadas pelo *Google* para reduzir a pegada de carbono resultante de sua atividade em *data centers*. A aquisição da empresa *DeepMind* e o uso de suas tecnologias de aprendizado de máquina para administrar diversos setores diferentes do *data center* e aumentar a eficiência desses setores se provaram extremamente eficazes para manter o PUE em índices normais. Enquanto a *Apple* tem apostado mais em uso de energia sustentável, ao invés de energia obtida através de combustíveis fósseis, focando também em o que pode se refletir no fato de que a empresa é a que chega mais perto entre as principais empresas de tecnologia a cumprir os acordos da Agenda 2030.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito se fala sobre as infinitas possibilidades e feitos incríveis que só podem ser proporcionados através da tecnologia. No entanto, esses feitos acabam por ser atingidos em troca de um impacto ao planeta Terra muitas vezes proporcional ao tamanho da grandiosidade e ambição dessas ideias. É necessário que haja um reconhecimento deste impacto ambiental por parte das empresas de TI para que a atual “invisibilidade” dos danos que a tecnologia pode deixar no mundo deixe de existir.

O surgimento da *Big Data* e a crescente demanda por circulação de dados. Nesse cenário, lidar com a quantidade de dados gerados e a complexidade de infraestrutura necessária para comportar essa demanda tem se mostrado um desafio para grandes empresas de TI. Globalmente, é crucial estabelecer padrões éticos, regulatórios e técnicos para garantir a segurança e a utilização responsável dos dados, além de promover a inovação sustentável.

Muitas empresas de tecnologia se mostraram conscientes acerca da importância do uso de recursos sustentáveis, sendo muitas destas organizações adeptas ao uso de tais tecnologias. Apesar disto, é visível que ainda há um grande caminho a ser percorrido considerando os objetivos traçados na Agenda 2030.

A investigação sobre os impactos ambientais causados pelas empresas de Tecnologia da Informação oferece uma visão crucial em um mundo cada vez mais dependente da tecnologia. Os resultados obtidos até o momento representam apenas uma parte do quadro completo, sendo necessário que haja pesquisas posteriores que investiguem ainda mais variáveis no que diz respeito à causa do problema. A continuidade dessa pesquisa é fundamental para aprofundar a compreensão dos efeitos ambientais das operações de empresas de TI, explorando a eficácia de estratégias de sustentabilidade, identificando novas áreas de intervenção e buscando soluções inovadoras para reduzir o impacto negativo no meio ambiente. Este campo de estudo em evolução continuará a desempenhar um papel vital na formulação de políticas, práticas empresariais responsáveis e na promoção de um equilíbrio entre avanços tecnológicos e a preservação do ambiente.

REFERÊNCIAS

About Us | GHG Protocol. Disponível em:

<https://ghgprotocol.org/about-us#:~:text=Greenhouse Gas Protocol provides standards.and manage climate-warming emissions>. Acesso em: 28 set. 2023.

ANDERS S.G. ANDRAE. Total Consumer Power Consumption Forecast. 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/320225452_Total_Consumer_Power_Consumption_Forecast. Acesso em: 12 maio. 2023.

Apple Environmental Progress Report. Disponível em:

https://www.apple.com/br/environment/pdf/Apple_Environmental_Progress_Report_2023.pdf. Acesso em: 27/05/2023

ARBABZADEH, M. Clouding the issue: Are Amazon, Google, and Microsoft really helping companies go green?. ClimaTiq. 2022. Disponível em:

<https://www.climatiq.io/blog/cloud-computing-amazon-google-microsoft-helping-companies-go-green>. Acesso em: 2 out. 2023.

BERKHOUT, F.; HERTIN, J. IMPACTS OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES ON ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: SPECULATIONS AND EVIDENCE. Disponível em: <https://www.oecd.org/sti/inno/1897156.pdf>

Company ESG Risk Ratings and scores - Sustainalytics. Disponível em:

<https://www.sustainalytics.com/esg-ratings>. Acesso em: 6 nov. 2023.

Data Centers and Data Transmission Networks – Analysis - IEA. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>. Acesso em: 19 mar. 2023.

KEMP, S. DIGITAL 2023: GLOBAL OVERVIEW REPORT — DATAREPORTAL – GLOBAL DIGITAL INSIGHTS. DataReportal – Global Digital Insights. Disponível em: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>. Acesso em: 18 mar. 2023.

ENERGY STAR. Disponível em:

<https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/energy-star-score-data-centers#:~:text=Property Types.-.The ENERGY STAR score for data centers applies to spaces.Reference Data..> Acesso em: 29 maio. 2023.

EVANS, R.; GAO J. DeepMind AI reduces energy used for cooling Google data centers by 40%. 2016. Disponível em:

<https://blog.google/outreach-initiatives/environment/deepmind-ai-reduces-energy-used-for/>. Acesso em: 1 nov. 2023.

HARVEY, C. What is a Data Center? | History, Design, Cooling & Types. Disponível em: <https://www.datamation.com/data-center/what-is-data-center/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

INGALLS, S. What Is a Client-Server Model? A Guide to Client-Server Architecture. 2021. Disponível em: <https://www.serverwatch.com/guides/client-server-model/>. Acesso em: 2 maio. 2023.

KAMPRAD, D. 8 Worst Industries for the Environment and Pollution - Impactful Ninja. Disponível em: <https://impactful.ninja/worst-industries-for-the-environment-and-pollution/#:~:text=The worst industries for the,What is this%3F>. Acesso em: 18 mar. 2023.

LAVI, H. Measuring greenhouse gas emissions in data centres: the environmental impact of cloud computing | Insights & Sustainability | ClimaTiq. Disponível em: <https://www.climatiq.io/blog/measure-greenhouse-gas-emissions-carbon-data-centre-s-cloud-computing>. Acesso em: 4 out. 2023.

LUTKEVICH, B.; MCLAUGHLIN, E. green IT (green information technology). Disponível em: [\[https://www.techtarget.com/searchcio/definition/green-IT-green-information-technology#:~:text=Green IT \(green information technology\) is the practice of creating, and using environmentally sustainable computing.\]\(https://www.techtarget.com/searchcio/definition/green-IT-green-information-technology#:~:text=Green IT \(green information technology\) is the practice of creating, and using environmentally sustainable computing.\)](https://www.techtarget.com/searchcio/definition/green-IT-green-information-technology#:~:text=Green IT (green information technology) is the practice of creating, and using environmentally sustainable computing.](https://www.techtarget.com/searchcio/definition/green-IT-green-information-technology#:~:text=Green IT (green information technology) is the practice of creating, and using environmentally sustainable computing.)). Acesso em: 4 abr. 2023.

MAHAN, J. Understanding Data Center Energy Consumption - C&C Technology Group. Disponível em: <https://cc-techgroup.com/data-center-energy-consumption/#:~:text=Data centers usually use a, and cool down their components..>. Acesso em: 3 maio. 2023.

MARCACCI, S. How Much Energy Do Data Centers Really Use?. 2020. Disponível em: <https://energyinnovation.org/2020/03/17/how-much-energy-do-data-centers-really-use/>. Acesso em: 12 maio. 2023.

NAVARRO, R. The Carbon Emissions of Big Tech. 2023. Disponível em: <https://www.electronicshub.org/the-carbon-emissions-of-big-tech/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

O que é o modelo Cliente/Servidor? - Tech Enter. Disponível em: <https://techenter.com.br/o-que-e-o-modelo-cliente-servidor/>. Acesso em: 2 maio. 2023.

PRODANOV, Cleber; FREITAS, Ernani. Metodologia do Trabalho Científico. 2ª edição. Rio Grande do Sul: Editora Feevale. 2013

Rochlin, J. What are data centers? How they work and how they are changing in size and scope. Disponível em: <https://www.networkworld.com/article/3599213/what-are-data-centers-how-they-work-and-how-they-are-changing-in-size-and-scope.html>. Acesso em: 5 out. 2023.

Scope 1 and Scope 2 Inventory Guidance | US EPA. Disponível em:
<https://www.epa.gov/climateleadership/scope-1-and-scope-2-inventory-guidance>.
Acesso em: 28 set. 2023.

SHARMA, S. What is a data center? Definition, architecture and management best practices. Disponível em:
<https://venturebeat.com/data-infrastructure/what-is-a-data-center-definition-architecture-and-management-best-practices/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

The Carbon Footprint of the Internet. Disponível em:
<https://www.climateimpact.com/news-insights/insights/infographic-carbon-footprint-internet/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

UNITED NATIONS. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development .. Sustainable Development Knowledge Platform. Disponível em:
<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>.
Acesso em: 5 nov. 2023.

UNITED NATIONS. Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015. [s.l: s.n.]. Disponível em:
https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf.

What Is Environmental, Social, and Governance (ESG) Investing? Disponível em:
<https://www.investopedia.com/terms/e/environmental-social-and-governance-esg-criteria.asp>. Acesso em: 5 nov. 2023.

What is Server Virtualization? | VMware Glossary. Disponível em:
[https://www.vmware.com/topics/glossary/content/server-virtualization.html#:~:text=Server virtualization is the process,its own operating systems independently..](https://www.vmware.com/topics/glossary/content/server-virtualization.html#:~:text=Server%20virtualization%20is%20the%20process,its%20own%20operating%20systems%20independently..) Acesso em: 12 maio. 2023.