

UTILIZAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM E SUA CONTRIBUIÇÃO NA REDUÇÃO DO EFEITO ESTUFA E COMBATE AO AQUECIMENTO GLOBAL

UTILIZATION OF CLOUD COMPUTING AND ITS CONTRIBUTION TO REDUCING THE GREENHOUSE EFFECT AND COMBATING GLOBAL WARMING

Vitor André CURTOLO

vitorandrecurtulo2014@gmail.com

Instituto Federal São Paulo, Campus Campinas

Cecilia SOSA ARIAS PEIXOTO

cecilia.sosa@ifsp.edu.br

Instituto Federal São Paulo, Campus Campinas

Resumo

A convergência entre computação em nuvem e TI verde surge como um paradigma inovador na era digital. Este trabalho busca compreender como a migração para a nuvem, aliada a práticas de TI verde, contribui para o combate ao aquecimento global. A metodologia inclui uma análise de estudos de caso de empresas que implementaram práticas sustentáveis em suas operações na nuvem. Em seguida, são examinados relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Google e AWS) para identificar as estratégias adotadas para reduzir emissões de CO₂ e melhorar a eficiência energética. Os resultados mostram que a computação em nuvem, quando aliada a tecnologias sustentáveis, não só otimiza a infraestrutura de TI, mas também reduz significativamente o impacto ambiental das operações.

Palavras-Chave

Tecnologias Sustentáveis em TI; TI Verde; Sustentabilidade; Uso Eficiente de Recursos Computacionais.

Abstract

The convergence between cloud computing and green IT emerges as an innovative paradigm in the digital age. This study aims to understand how migration to the cloud, combined with green IT practices, contributes to combating global warming. The methodology includes an analysis of case studies from companies that have implemented sustainable practices in their cloud operations. Subsequently, sustainability reports from major technology companies (Google and AWS) are examined to identify strategies adopted to reduce CO₂ emissions and improve energy efficiency. The results show that cloud computing, when combined with sustainable technologies, not only optimizes IT infrastructure but also significantly reduces the environmental impact of operations.

Keywords

Sustainable IT Technologies; Green IT; Sustainability; Efficient Use of Computational Resources.

INTRODUÇÃO

A computação em nuvem e a TI verde emergiram como paradigmas complementares na era digital, com potencial significativo para transformar o setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC). A computação em nuvem, definida como a entrega de serviços de computação, incluindo servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, software e análises pela Internet (“a nuvem”), tem revolucionado a forma como as empresas e indivíduos gerenciam e acessam recursos tecnológicos (MELL; GRANCE, 2011).

Ao permitir a escalabilidade e a flexibilidade, a computação em nuvem oferece uma

alternativa eficiente em termos de custo e desempenho em relação à infraestrutura de TI tradicional. De acordo com Berl *et al.* (2010), data centers otimizados para computação em nuvem podem ser significativamente mais eficientes em termos energéticos. Paralelamente, a TI verde, descrita por Murugesan (2008) como um conjunto de práticas que reduzem o impacto ambiental dos produtos de TI, representa uma abordagem complementar na busca pela sustentabilidade.

A TI verde, refere-se a práticas e tecnologias que visam minimizar os impactos ambientais da produção, uso e descarte de produtos de tecnologia. Isso inclui a adoção de medidas para reduzir o consumo de energia, a emissão de gases de efeito estufa e o desperdício eletrônico (MURUGESAN, 2008). A integração desses conceitos tem ganhado destaque à medida que as organizações buscam não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também cumprir com metas de sustentabilidade ambiental.

A computação em nuvem pode ser vista como uma facilitadora crucial para a TI verde. Ao centralizar recursos em grandes data centers otimizados, a computação em nuvem permite uma utilização mais eficiente da energia e recursos. Estudos indicam que a migração para a nuvem pode reduzir significativamente o consumo energético e as emissões de carbono associadas à operação de data centers privados (BALIGA *et al.* 2011).

Além disso, os provedores de serviços em nuvem estão cada vez mais investindo em tecnologias de energia renovável e práticas de eficiência energética para tornar suas operações mais sustentáveis.

Este trabalho tem como objetivo explorar a interseção entre a computação em nuvem e a TI verde, destacando os benefícios ambientais proporcionados pela adoção dessas práticas. Por meio da análise de estudos de caso e de pesquisas recentes, serão investigadas as principais estratégias utilizadas para reduzir a pegada ecológica de organizações que utilizam a computação em nuvem. A metodologia adotada envolve a revisão de literatura e a análise de dados documentados em estudos anteriores, buscando evidenciar os impactos da computação em nuvem e a sustentabilidade do setor de TI.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Computação em Nuvem

Segundo o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), a Computação em Nuvem é definida como um modelo que permite acesso facilitado e sob demanda, de qualquer lugar, a um conjunto compartilhado de recursos computacionais, como redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços. Esses recursos podem ser provisionados rapidamente e liberados com um nível reduzido de gerenciamento ou interação direta com o fornecedor do serviço (MELL; GRANCE, 2011). Entre os benefícios que podem ser obtidos por meio da Computação em Nuvem destacam-se a redução de custos, a economia de energia e a rápida implantação.

O modelo de nuvem é caracterizado pelo autoatendimento sob demanda que envolve capacidades de computação, como tempo de servidor e armazenamento em rede, sem necessitar da interação humana com cada prestador de serviço. O amplo acesso à rede é disponibilizado e acessado por meio de plataformas-cliente heterogêneas independente da capacidade de processamento. Os recursos de computação - armazenamento, processamento, memória e largura de banda de rede - são agrupados para atender vários consumidores com diferentes recursos físicos e virtuais que são atribuídos conforme a demanda. A capacidade liberada é elástica para que se ajuste à escala da demanda e os sistemas otimizam e controlam de forma automática o uso dos recursos.

A computação em nuvem pode ser categorizada em três principais modelos de serviço: *Software as a Service* (SaaS), *Platform as a Service* (PaaS) e *Infrastructure as a Service* (IaaS). Cada um desses modelos oferece diferentes níveis de controle e gerenciamento dos recursos, permitindo que as organizações escolham a solução mais adequada às suas necessidades. Além disso, a computação em nuvem pode ser implementada em diferentes modelos de implantação,

como nuvens públicas, privadas e híbridas, cada uma com suas próprias vantagens e desafios (ARMBRUST *et al.*, 2010).

1.2 Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural essencial para a manutenção da vida na Terra, pois garante que o planeta mantenha temperaturas adequadas para a existência de diversos ecossistemas. Esse processo ocorre quando determinados gases na atmosfera, conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), capturam a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e a reemitem de volta, aquecendo o planeta. Entre os principais gases de efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorocarbonos (CFCs) (PACHAURI; MEYER, 2014).

A preocupação com o efeito estufa intensificou-se com a Revolução Industrial, período que marcou o aumento significativo das atividades humanas que emitem GEE, como a queima de combustíveis fósseis, a agricultura intensiva e o desmatamento. Dentre essas atividades e outras, têm contribuído para um aumento substancial na concentração desses gases na atmosfera, resultando em um aquecimento global sem precedentes (NASA SCIENCE, 2024).

O aumento da temperatura média global tem consequências severas para o meio ambiente e a humanidade. Entre os impactos mais notáveis estão a elevação do nível do mar, o derretimento de geleiras e calotas polares, alterações nos padrões de precipitação, e eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos, como furacões, secas e inundações Hansen *et al* (2006). Esses efeitos não apenas ameaçam a biodiversidade e os ecossistemas, mas também têm implicações econômicas e sociais significativas, afetando a segurança alimentar, a saúde pública e a infraestrutura.

Estudos científicos indicam que a mitigação do efeito estufa requer ações coordenadas a nível global para reduzir as emissões de GEE e promover práticas sustentáveis. A adoção de tecnologias limpas, a transição para fontes de energia renovável e a implementação de políticas públicas voltadas para a preservação ambiental são algumas das medidas necessárias para enfrentar esse desafio (Masson-Delmotte, 2018).

1.3 Aquecimento Global

O debate sobre as mudanças climáticas frequentemente se concentra nos termos utilizados para descrever a gravidade e a natureza dos impactos ambientais causados pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Tradicionalmente, o termo "aquecimento global" tem sido amplamente utilizado para descrever o aumento gradual da temperatura média da Terra, resultante da concentração crescente de GEE na atmosfera. No entanto, à medida que os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais severos e imediatos, alguns cientistas e ativistas sugerem que o termo "ebulição global" pode ser mais apropriado para capturar a urgência e a magnitude do problema.

Este fenômeno tem sido documentado extensivamente desde a Revolução Industrial, com a queima de combustíveis fósseis e outras atividades humanas contribuindo significativamente para a elevação dos níveis de CO₂ e outros GEE na atmosfera (HANSEN *et al*, 2006). As consequências do aquecimento global são bem conhecidas: derretimento de geleiras, elevação do nível do mar, acidificação dos oceanos e mudanças nos padrões climáticos globais, incluindo eventos climáticos extremos como furacões, secas e inundações (Pachauri; Meye, 2014).

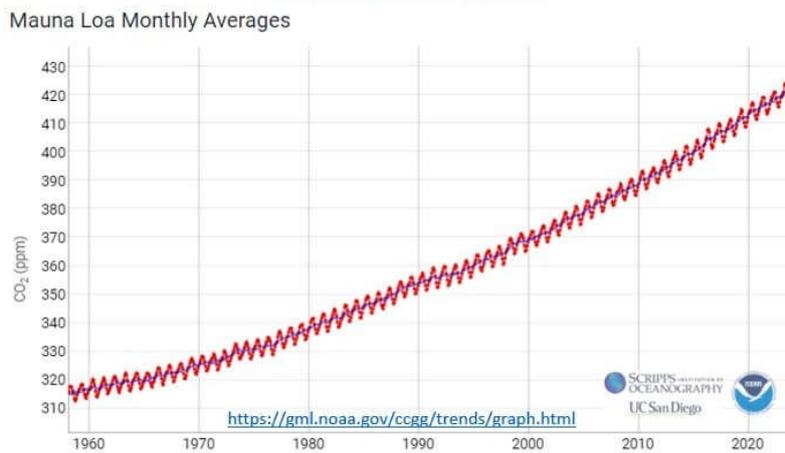
A humanidade está a poucos anos de presenciar um cenário em que as mudanças climáticas não apenas aquecem o planeta de maneira gradual, mas também provocam mudanças catastróficas e abruptas nos sistemas climáticos da Terra. Enfatiza a possibilidade de alcançar pontos de inflexão irreversíveis, onde mudanças rápidas e intensas podem ocorrer, levando a condições climáticas extremas que desafiam a capacidade de adaptação das sociedades humanas e dos ecossistemas naturais (LENTON *et al*, 2019).

1.4 Emergência Climática

Em 1958, o cientista Charles Keeling instalou o primeiro equipamento para medir as concentrações de CO₂ na atmosfera no topo do vulcão Mauna Loa. Isso permitiu a medição direta da concentração de gases de efeito estufa (GEE) usando dados confiáveis. A série da curva de Keeling mostra que a concentração média anual de CO₂ na atmosfera era de 316 ppm em 1959. Em 2015, ano do Acordo de Paris, aumentou para 401 ppm e chegou a 422 ppm em 2023, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Curva de Keeling

Curva de Keeling
A concentração de CO₂ estava em 316 ppm em 1959, chegou a 401 ppm em 2015 e alcançou 422 ppm em 2023



Fonte: <https://www.ecodebate.com.br>

A curva de Keeling mostra um crescimento exponencial incomum. Nunca houve uma concentração superior a 420 ppm de CO₂ na atmosfera nos últimos 14 milhões de anos (ALVES, 2024). O artigo "*Toward a Cenozoic history of atmospheric CO₂*", publicado na revista acadêmica Science em 8 de dezembro de 2023, afirma que a última vez que a atmosfera registrou 420 partes por milhão (ppm) de dióxido de carbono foi entre 14 e 16 milhões de anos atrás, quando a Groenlândia não era gelada e os antepassados mais próximos da humanidade (hominídeos) ainda não existiam. A pesquisa recente indica que essa concentração elevada de dióxido de carbono é muito mais antiga do que os 3 a 5 milhões de anos relatados por estudos anteriores (ALVES, 2024).

Quando o Acordo de Paris foi discutido em 2015, o objetivo era reduzir as emissões de gases de efeito estufa e reduzir o ritmo de aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Por outro lado, o Acordo de Paris fixou um limite máximo de 2°C para a temperatura média global.

O IPCC, um grupo que reúne os principais cientistas climáticos do mundo, trabalhou com base em uma solicitação dos governos para avaliar como os efeitos de um aumento de 1,5°C variam de 2°C e o que deve ser alterado nas emissões de gases de efeito estufa em cada situação.

Sua pesquisa mostra que mesmo com 1,5 graus Celsius de aquecimento, o planeta enfrentará graves impactos climáticos, e os efeitos pioram significativamente com 2 graus Celsius. A temperatura média global já aumentou cerca de 1°C, e até 2030, o orçamento de carbono será esgotado para um cenário de 1,5°C.

Na Figura 2, produzida pela WRI Brasil, (World Resources Institute), se pode aferir o quão significativo pode ser o aumento de 0,5 °C na temperatura média global.

Figura 2. Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (1)



Fonte: Adaptação de Levin (2018)

Na figura 3 é possível analisar que as temperaturas médias e extremas aumentarão em cenários de aquecimento de 2°C ou 1,5°C. Isso se aplica a todas as áreas habitadas do mundo. Por exemplo, se o clima aumentasse 1,5°C, quase 14% da população global seriam expostas a ondas de calor intensas pelo menos uma vez a cada cinco anos. Em contraste, se o aquecimento fosse de 2°C, 37% da população mundial seria exposta a ondas de calor intensas pelo menos uma vez a cada cinco anos. Sob 2°C de aquecimento no Mediterrâneo e na África Austral, o risco de aumento da magnitude e frequência de secas é significativamente maior do que sob 1,5°C (LEVIN, 2018).

Figura 3. Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (2)



Fonte: Adaptação de Levin (2018)

O aquecimento acelerará a transformação dos ecossistemas. Por exemplo, com um aquecimento de 2°C, é projetado que 13% da área terrestre experimentará mudanças ou transformações de biomas. As tundras podem se transformar em florestas, por exemplo. Esse risco é reduzido para 4% da área terrestre em 1,5°C (LEVIN, 2018).

METODOLOGIA

Este trabalho utilizou uma metodologia qualitativa de natureza exploratória e descritiva (GIL 2008), fundamentada em revisão de literatura, análise de estudos de caso e de relatórios de sustentabilidade. A revisão bibliográfica permitiu contextualizar os conceitos de computação em nuvem e TI verde, identificando práticas e tecnologias sustentáveis com base em fontes acadêmicas e técnicas.

A análise de estudos de caso investigou a adoção da computação em nuvem por empresas de diversos setores, avaliando os impactos em termos de eficiência energética e redução de emissões. Já a análise de relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia buscou compreender como elas implementam práticas de TI verde em suas operações e influenciam o setor. Por fim, uma análise comparativa sintetizou os dados coletados, identificando padrões, desafios e melhores práticas na relação entre computação em nuvem e sustentabilidade ambiental.

RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir das análises conduzidas neste trabalho. As seções a seguir abordarão a análise dos estudos de caso, a avaliação dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia, bem como uma análise comparativa que visa destacar os principais insights e tendências identificados.

1.1 Análise de Estudos de Caso

Na primeira etapa dos resultados, foi abordada a análise de estudos de caso já consolidados e publicados sobre práticas de TI verde. Esses estudos fornecem uma base sólida para compreender os benefícios e desafios que envolvem a adoção de tecnologias sustentáveis no ambiente corporativo.

1.1.1 Análise Estudo de Caso 1

O estudo realizado por Salles *et al.* (2016) foca em práticas de TI verde aplicadas em ambientes corporativos para melhorar a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental das operações de TI. A pesquisa examina a implementação de práticas como a virtualização de máquinas, digitalização de documentos, controle de impressões, descarte responsável de resíduos eletrônicos, e outras iniciativas voltadas para otimização energética e redução de emissões de carbono.

O estudo de caso destaca empresas que, ao adotar essas práticas, alcançaram benefícios significativos, como a redução do consumo de energia, diminuição de custos operacionais, e prolongamento do ciclo de vida de equipamentos. Ao mesmo tempo, o estudo aborda as dificuldades enfrentadas, como o alto custo inicial de implementação e a resistência dos colaboradores em aderir a novas práticas sustentáveis. A tabela 1 apresenta a análise de estudo de caso de Salles et al. desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 1. Análise Estudo de Caso de Salles et. al (2016)

| Práticas implantadas | Benefícios alcançados | Dificuldades enfrentadas |
|--|--|--|
| Virtualização de máquinas: Redução no número de servidores físicos, utilizando virtualização para aumentar a eficiência energética. | Redução do consumo de energia: Maior eficiência energética, diminuindo os custos de operação. Segurança e eficiência operacional: A virtualização aumentou a segurança e agilidade das operações. | Alto custo inicial: Investimento elevado em infraestrutura e consultoria especializada. Resistência à mudança: Funcionários enfrentaram dificuldades para se adaptar a novas tecnologias. |
| Modernização do parque tecnológico: Substituição de monitores CRT por LCD e adoção de equipamentos mais eficientes | Redução de custos operacionais: Equipamentos mais eficientes reduziram o consumo de energia. | |
| Digitalização de documentos: Armazenamento de arquivos digitais, reduzindo o uso de papel. | Redução do consumo de papel: Economias significativas com a eliminação de impressões desnecessárias. | Necessidade de planejamento: Definição de ferramentas de controle e metas claras foi um desafio. |
| Controle de impressões e impressões conscientes: Utilização de eco fontes e monitoramento de impressões. | Redução de custos com impressões: A impressão consciente diminuiu o consumo de tinta e papel. | Resistência dos funcionários: Mudança de hábitos de impressão foi um obstáculo. |
| Adoção de tecnologias VoIP e central telefônica: | Redução de custos com telefonia: Adoção de VoIP | Investimento inicial elevado: Implementação de |

| | | |
|--|--|--|
| Redução de custos com telefonia. | trouxe uma redução significativa das despesas de comunicação | VoIP demandou recursos financeiros consideráveis. |
| Descarte correto de equipamentos eletrônicos: Política de descarte sustentável de resíduos eletrônico | Redução do impacto ambiental: A destinação adequada de resíduos eletrônicos minimizou os impactos ambientais. | Complexidade do processo de descarte: Logística e conformidade com normas ambientais foram desafios. |
| Reutilização de papel e peças de equipamentos: Aproveitamento de materiais recicláveis. | Aumento do ciclo de vida dos produtos: Prolongou a utilização de recursos e diminuiu o desperdício. | Planejamento de logística de reciclagem: Gerenciamento de materiais recicláveis foi um processo complexo. |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

1.1.2 *Análise Estudo de Caso 2*

O estudo de Pinto *et al.* (2021) aborda o alto consumo de energia dos data centers e seus impactos ambientais, principalmente pela emissão de gases de efeito estufa gerada no processo de produção de energia elétrica. O objetivo do trabalho é destacar as vantagens tecnológicas da TI verde aplicadas à sustentabilidade desses centros de processamento de dados. Ao implementar práticas de TI verde, três grandes empresas conseguiram reduzir o consumo de energia em seus data centers, tornando suas operações mais ecologicamente corretas.

Por meio da análise de dados dessas empresas, o estudo de caso apresenta práticas específicas de TI verde que contribuem para a eficiência energética e para a sustentabilidade, sem comprometer a capacidade e o uso intensivo da informação nesses ambientes. A pesquisa mostra como tecnologias modernas e sustentáveis podem diminuir o impacto ambiental dos data centers, oferecendo um caminho para a integração da TI verde em grandes infraestruturas tecnológicas.

A tabela 2 apresenta a análise de estudo de caso de Pinto *et al.*, (2021) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 2. Análise Estudo de Caso de Pinto et. al (2021)

| Práticas implantadas | Benefícios alcançados | Dificuldades enfrentadas |
|--|---|--|
| LOCAWEB | | |
| Construção do maior <i>Data Center</i> verde da América Latina. | Redução de 30% no consumo de energia. | Investimento inicial significativo para a construção e implementação das tecnologias |
| Utilização de computação em nuvem nos datacenters: | Redução de 30% na emissão de CO2. Acesso dos dados facilitado. Redução de custo com infraestrutura. | Necessidade de mudança cultural e adaptação à nova tecnologia. |
| Sistema de <i>free-cooling</i>. | Economia de até 40% no consumo energético. | Manutenção e monitoramento contínuo das novas tecnologias. |
| ALGAR TECH | | |
| Implementação de sistema fotovoltaico. | Economia de R\$ 125 mil por ano. | Alto custo inicial de R\$ 2 milhões para a instalação do sistema fotovoltaico. |

| | | |
|---|---|---|
| Primeiro call center e Data Center verde da América Latina. | Geração de 450 MWh/ano, suficiente para alimentar 150 residências. Neutralização da emissão de CO2 equivalente ao plantio de 1600 árvores. | Necessidade de certificação e adequação às normas para obter o Selo Solar. |
| DELL EMC | | |
| Iniciativas de eficiência energética (contenção de corredores quentes e frios). | Economia de US\$ 4,3 milhões por ano. | Aumento inicial do uso de energia durante a implementação de novas tecnologias. |
| Uso de nitrogênio líquido para otimização de processos. | Redução de 6,5 toneladas de CO2.T | Necessidade de treinamento e adaptação da equipe para novas práticas e tecnologias. |
| Data Center virtual 100% eficiente em uso de energia. | Redução de 129 mil m ³ de água por ano. | Desafios na integração de sistemas antigos com novas tecnologias sustentáveis. |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

1.1.3 *Análise Estudo de Caso 3*

O estudo realizado por Lunardi *et al.* (2014) explora a crescente preocupação mundial com problemas ambientais, esgotamento de recursos não renováveis e desenvolvimento sustentável, destacando o papel que a área de TI desempenha tanto no problema quanto na solução. Com a conscientização dos gestores sobre o impacto ambiental da tecnologia, as práticas de TI verde foram adotadas nas organizações com o objetivo de reduzir o desperdício e aumentar a eficiência operacional dos sistemas.

O trabalho consiste em uma pesquisa exploratória-descritiva, baseada na análise de 202 publicações, incluindo artigos, estudos de caso, entrevistas e sites institucionais, entre 2006 e 2011. Os dados permitiram identificar e categorizar as principais práticas de TI verde, como a consolidação de servidores, uso de equipamentos eficientes, reciclagem de componentes e campanhas de conscientização. Os benefícios observados incluem redução de custos, menor consumo de energia, diminuição da emissão de gases e melhorias na imagem institucional das empresas.

A tabela 3 apresenta a análise de estudo de caso de Lunardi *et al.* (2014) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 3. Análise Estudo de Caso de Lunardi et. al (2014)

| Práticas implantadas | Benefícios alcançados | Dificuldades enfrentadas |
|---|--|---|
| Consolidação de servidores: consiste em usar apenas uma máquina física com diversas máquinas virtuais, sendo uma para cada servidor. | Redução de custos operacionais. Redução do consumo de energia. Economia de espaço. | Altos investimentos iniciais. Necessidade de modernização constante. |
| Consolidação de desktops: uso de terminais do tipo thin client, onde os usuários são conectados a um servidor central que realiza todo o | Economia de quase 80% em relação a uma estação de trabalho normal. | |

| | | |
|--|--|---|
| processamento sem que haja perda para o usuário final | | |
| Modernização do datacenter: Aquisição de data centers verdes, com foco em eficiência energética. | Economia de energia. Redução da necessidade de expansão da infraestrutura para lidar com demanda energética e resfriamento. | |
| Uso de energias renováveis Aproveitamento do calor e da água | Redução de custos Redução da emissão de gases | Alto custo de implementação Acesso limitado a fontes de energia renováveis. Dificuldade de integração com os datacenters. |
| Uso de equipamentos mais eficientes Substituição de monitores CRT por LCD Eliminação de componentes nocivos | Redução de custos Maior ciclo de vida dos produtos Redução do lixo eletrônico | Necessidade de investimento em novos equipamentos Resistência à mudança de tecnologia |
| Sistemas de gerenciamento de energia Aplicativos eficientes | Redução do consumo de energia Redução de custos | Necessidade de treinamento e adaptação dos usuários Integração com sistemas existentes |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

1.1.4 *Análise Estudo de Caso 4*

O estudo realizado por Trivedi *et al.* (2014) explora a crescente preocupação com o impacto ambiental da infraestrutura de tecnologia da informação (TI) e como a computação em nuvem pode oferecer soluções sustentáveis. Destaca os benefícios da computação em nuvem, incluindo a redução do consumo de energia em até 95% e a diminuição do desperdício eletrônico, ao mesmo tempo em que aborda as dificuldades de implementação dessas práticas.

Por meio de exemplos de grandes empresas de tecnologia, como Microsoft e Google, o estudo ilustra a transformação do modelo de negócios tradicional para um modelo baseado em serviços, enfatizando a importância da eficiência energética e da sustentabilidade. O artigo conclui que, embora a computação em nuvem represente um avanço significativo em direção a uma TI mais ecológica, a verdadeira sustentabilidade será alcançada somente quando essas infraestruturas virtualizadas forem alimentadas por fontes de energia renováveis.

A tabela 4 apresenta a análise de estudo de caso de Trivedi *et al.* (2014) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Tabela 4. Análise Estudo de Caso de Trivedi *et. al* (2014)

| Práticas implantadas | Benefícios alcançados | Dificuldades enfrentadas |
|--|--|---|
| Virtualização: Uso de múltiplas máquinas virtuais em um único servidor físico para otimizar recursos. | Redução do consumo de energia em até 95%. Melhor utilização dos recursos físicos, permitindo que múltiplas máquinas virtuais operem em um único servidor. | Complexidade na transição de servidores físicos para um ambiente virtualizado. Necessidade de habilidades técnicas específicas para configuração e gestão. |
| Centralização de Recursos: Criação de infraestruturas | Menor necessidade de manutenção e gestão de | Investimentos significativos em hardware e software para criar uma |

| | | |
|---|--|---|
| de nuvem privadas para gestão eficiente | infraestrutura local. | infraestrutura de nuvem privada. Mudança cultural necessária nas organizações para adotar um modelo de gerenciamento centralizado. |
| Mudança de Modelo de Custo: Transição de CapEx para OpEx, permitindo pagamento apenas pelo uso | Redução de custos de utilidade em até 90% para estações de trabalho. Maior flexibilidade financeira para as empresas. | Desafios na adaptação de empresas que estão acostumadas a investimentos de longo prazo em infraestrutura. |
| Redução de Resíduos Eletrônicos: Minimização do uso de hardware local e desperdício. | Minimização do uso de hardware local e desperdício de equipamentos. Redução do desperdício geral devido ao consumo de poder computacional como serviço. | Implementação de novas políticas de descarte e reciclagem pode ser desafiadora. Necessidade de compromisso com a compra de equipamentos mais sustentáveis. |
| Uso de Fontes de Energia Renováveis | Potencial para reduzir o impacto ecológico geral devido a resíduos de TI, consumo de energia e emissões de carbono. | Dependência de fontes de energia renováveis pode não ser viável em todas as regiões. Necessidade de investimentos em infraestrutura para suportar energia renovável. |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

1.2 Análise Comparativa dos Estudos de Caso

Na segunda etapa foi realizada uma análise comparativa entre os estudos de casos abordados com o intuito de relacionar os dados apurados (Tabela 5).

Tabela 5. Tabela da Análise Comparativa

| Estudo de Caso | Práticas Implementadas | Benefícios Alcançados | Dificuldades Enfrentadas |
|-----------------------------|---|---|--|
| SALLES et al. (2016) | -Virtualização de Máquinas: Redução de servidores físicos através da virtualização para melhorar eficiência energética. | -Redução do Consumo de Energia: Diminuição dos custos de operação com maior eficiência energética. -Segurança e Eficiência Operacional: Maior segurança e agilidade nas operações. | -Alto Custo Inicial: Investimento elevado em infraestrutura e consultoria especializada. |
| PINTO et al. (2021) | -Construção de Data Center Verde: Maior data center verde da América Latina. -Uso de Computação em Nuvem: Data center virtual com eficiência energética. | -Redução de 30% no Consumo de Energia e Emissões de CO2. -Redução de Custos com Infraestrutura: Redução significativa de água e custos. -Facilidade de Acesso a Dados. | -Integração Complexa de Sistemas Antigos: Desafios para integrar tecnologias sustentáveis. -Alto Investimento Inicial: Custo elevado para construção e implementação. |

| | | | |
|------------------------------|--|---|---|
| LUNARDI et al. (2014) | -Consolidação de Servidores e Desktops: Uso de terminais <i>thin clients</i> e servidores centralizados. -Modernização de Data Center: Foco em eficiência energética. | -Redução de Custos Operacionais e Consumo de Energia: Redução de quase 80% em relação às estações tradicionais. - Economia de Espaço e Infraestrutura: Menor necessidade de expansão para resfriamento e demanda energética. | -Alto Custo de Implementação. - Limitação de Acesso a Fontes Renováveis: Dificuldade em obter fontes de energia limpa. -Dificuldades de Integração com Data Centers Existentes |
| TRIVEDI et al. (2014) | -Virtualização: Múltiplas máquinas virtuais em um único servidor físico. -Centralização de Recursos: Criação de nuvens privadas | - Redução de Consumo de Energia em até 95%. - Melhor Utilização de Recursos: Otimização de servidores e menor necessidade de manutenção local. | -Complexidade na Transição para Ambientes Virtuais: Necessidade de habilidades técnicas e mudanças organizacionais. -Investimento Significativo em hardware e software. |

Fonte: Resultados originais da pesquisa

A seguir, será apresentada uma análise comparativa das informações obtidas a partir dos estudos de caso selecionados. Essa análise tem como objetivo sintetizar as práticas de TI verde e computação em nuvem adotadas pelas empresas.

Presença da Computação em Nuvem: A Computação em Nuvem está Presente: Todos os estudos de caso demonstram práticas que envolvem a utilização da computação em nuvem ou a virtualização, uma tecnologia essencial para a construção de infraestruturas de nuvem. A computação em nuvem, em particular a virtualização de equipamentos e a concentração de recursos, é crucial para melhorar a eficiência energética e diminuir a pegada de carbono em todas as situações examinadas. O uso de centros de dados verdes e infraestruturas virtualizadas foi frequente, com efeitos diretos na diminuição de energia e emissões, o que está em consonância com as metas do estudo de analisar o papel da nuvem na sustentabilidade.

Benefícios em Sustentabilidade e Eficiência Energética: As vantagens mais frequentes incluem a diminuição do uso de energia e a redução das emissões de carbono. Em particular, a pesquisa de Trivedi *et al*, (2014) revela uma diminuição de até 95% no uso de energia através da virtualização, ao passo que Pinto *et al*, (2021) obtiveram uma diminuição de 30% nas emissões de CO2. As empresas, além de economizar energia, conseguiram diminuir os gastos operacionais e aprimorar a eficácia dos recursos. Estes achados apoiam a ideia de que a computação em nuvem auxilia na diminuição do efeito estufa ao fomentar a sustentabilidade.

Dificuldades Comuns na Implementação: Os desafios identificados incluíram o elevado custo inicial para a implementação de tecnologias em nuvem e a exigência de uma mudança cultural. Vários estudos também destacaram a complexidade na integração com sistemas antigos e a necessidade de competências técnicas específicas para administrar a infraestrutura em nuvem. Esses obstáculos sugerem que, apesar da computação em nuvem proporcionar vantagens ambientais e operacionais relevantes, sua aplicação requer investimentos sólidos e um planejamento minucioso.

Validação dos Objetivos do Trabalho: Os estudos de caso examinados comprovam que a

computação na nuvem e práticas correlatas, como a virtualização e a centralização de recursos, auxiliam na sustentabilidade das operações de TI, contribuindo para a diminuição do consumo de energia e das emissões de CO₂. A avaliação indica que, ao diminuir a quantidade de servidores físicos e implementar tecnologias eficazes, as organizações não só aprimoram sua eficácia operacional, como também colaboram para a atenuação das alterações climáticas. Isso confirma a meta do estudo de que a computação em nuvem contribui para o combate ao aquecimento global e a diminuição do efeito estufa. Essa análise comparativa evidencia que, embora a computação em nuvem enfrente barreiras como o custo e a necessidade de adaptação cultural, os benefícios ambientais e operacionais reforçam seu papel como uma solução viável e eficaz para promover a TI Verde e contribuir para a sustentabilidade global.

Viabilidade financeira de utilização da computação em nuvem: A adoção da computação em nuvem vai além de uma prática sustentável, ela também gera benefícios econômicos significativos para as empresas. De acordo com Lacy *et al* (2020), migrar para a nuvem sustentável permite que as empresas não apenas atinjam objetivos financeiros, mas também reduzam os custos totais de propriedade em cerca de 30-40%, graças à flexibilidade de cargas de trabalho, melhor utilização dos servidores e consumo de energia mais eficiente. Em suas próprias operações, a Accenture transferiu 95% de suas aplicações para a nuvem, gerando US\$ 14,5 milhões em benefícios nos primeiros três anos e economizando US\$ 3 milhões anuais devido ao dimensionamento correto dos serviços utilizados (Lacy *et al*, 2020). Além da economia direta, a sustentabilidade é um ponto crucial para o sucesso futuro das empresas. O estudo “UNGC-Accenture Strategy CEO” mostra que 99% dos CEOs de grandes empresas acreditam que questões ambientais são vitais para o sucesso a longo prazo. Adotar práticas sustentáveis, como a computação em nuvem, fortalece a reputação da empresa e a torna mais competitiva no mercado. De fato, empresas com elevados índices de desempenho ambiental, social e de governança (ESG) têm margens operacionais superiores, com um desempenho anual de até 4,7 vezes maior do que aquelas com baixos índices de ESG, o que demonstra a vantagem financeira da sustentabilidade (Lacy *et al*, 2020). De acordo com Rodrigues; Galdino; Antunes Neto (2021), em um estudo que analisou a aplicação de computação em nuvem em empresas que pequeno e médio porte, foi constatado que em diversos setores, como startups, instituições de ensino e empresas de tecnologia, reportaram benefícios financeiros e operacionais ao adotar serviços de nuvem, tornando essa prática uma solução estratégica para a modernização e eficiência empresarial. Um dos exemplos destacados é o de uma startup de estampas de camisetas, que reduziu seus custos operacionais em 40%, além de obter melhorias em desempenho e escalabilidade. Em um ambiente de testes com nuvem privada, constatou-se que a implantação dessa modalidade trouxe benefícios relacionados a custos, segurança e uso consciente de recursos. Já uma instituição de ensino superior observou que, ao migrar para serviços de nuvem pública, foi possível alcançar vantagens em custos e escalabilidade, embora a segurança fosse inferior em comparação a sistemas locais. Três pequenas empresas identificaram economias significativas em manutenção e implementação ao migrar para a nuvem. No Porto Digital, a maioria das empresas incubadas já utilizam a nuvem, com benefícios evidentes em redução de custos e incentivo à inovação. Em Santa Catarina, 95% das empresas de tecnologia adotaram serviços de nuvem, destacando acessibilidade e baixo custo como principais vantagens (RODRIGUES; GALDINO; ANTUNES NETO, 2021). Esses estudos reforçam que a migração para a computação em nuvem é economicamente viável e benéfica para empresas de pequeno porte. A adoção dessa tecnologia não só reduz custos, mas também melhora a eficiência e permite que as empresas se concentrem em seus objetivos estratégicos, tornando-se mais competitivas e sustentáveis no mercado atual.

1.3 Análise dos Relatórios de Sustentabilidade

Nessa etapa, foi realizada uma análise dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Big Techs) que adotaram soluções de computação em nuvem com foco na

sustentabilidade.

1.3.1 *Apurações do Relatório de Sustentabilidade da Google de 2024*

A análise dos dados coletados do relatório de sustentabilidade da Google evidencia o papel crucial da computação em nuvem e da inteligência artificial (IA) para impulsionar práticas sustentáveis e reduzir a pegada de carbono dos data centers.

1. Eficiência Energética e Infraestrutura dos Data Centers

A Google investiu significativamente na **otimização de seus data centers** para melhorar a eficiência energética. Em 2023, a média de *Power Usage Effectiveness* (PUE) dos data centers da Google foi de 1,10, comparado à média da indústria de 1,58. Esse índice indica que, para cada unidade de energia consumida em tarefas de TI, apenas 0,10 unidades adicionais são utilizadas, demonstrando um compromisso com uma infraestrutura otimizada e com baixo desperdício energético. A implementação de **processadores eficientes** como o Google Axion, que são até 60% mais eficientes que instâncias tradicionais, reforça ainda mais a eficiência da infraestrutura em nuvem.

2. Redução do Consumo Energético com IA e Otimização

A Google utiliza IA para maximizar a eficiência energética em suas operações. Com **modelos de IA otimizados** para o uso eficiente de hardware, a empresa reduziu a energia necessária para treinar modelos de IA em até 100 vezes e as emissões de CO₂ associadas em até 1.000 vezes. Além disso, **algoritmos de IA** são aplicados em sistemas de controle de energia, como os termostatos inteligentes Nest, que ajudaram os usuários a economizar mais de 20 bilhões de kWh em 2023, promovendo uma redução significativa no consumo de energia.

3. Integração de Energias Renováveis

A Google tem como objetivo alcançar 100% de energia livre de carbono em todas as suas operações até 2030. Em 2023, 64% da energia utilizada em seus data centers já era proveniente de fontes renováveis. A empresa não só adquire energia limpa, como também investe em **inovações energéticas**, incluindo projetos de geotermia avançada e tecnologias de eletricidade limpa. Esses esforços demonstram o compromisso com uma **infraestrutura neutra em carbono**, sustentada por fontes de energia renováveis.

4. Colaboração e Compartilhamento de Dados para Sustentabilidade

A Google desenvolveu o **Data Commons**, uma plataforma que organiza dados de sustentabilidade para que governos e organizações possam acessar informações relevantes e tomar decisões informadas sobre emissões e eficiência energética. Parcerias estratégicas com o setor privado, como a colaboração com a Engie para otimizar operações e identificar consumidores potenciais de energia solar, ampliam o impacto das práticas de TI verde adotadas.

5. Aplicação de IA para Mitigação de Impactos Ambientais

A Google também aplica IA em soluções práticas para a sustentabilidade. Exemplos incluem o **Google Maps**, que sugere rotas de menor impacto para veículos, reduzindo em 2,9 milhões de toneladas métricas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desde 2021. Outro exemplo é o **modelo de IA para previsão de inundações**, que permite prever desastres com até sete dias de

antecedência, ajudando as comunidades a responderem rapidamente e mitigando o impacto ambiental.

6. Compromisso com Economia Circular e Sustentabilidade em Produtos

Além de buscar eficiência operacional, a Google adota práticas alinhadas ao conceito de economia circular, que se baseia em minimizar o desperdício, maximizar a reutilização de recursos e criar ciclos fechados de materiais para prolongar sua utilidade. Como parte desse compromisso, a empresa estabeleceu a meta de desviar 90% dos resíduos gerados em seus data centers de aterros sanitários. Em 2023, 29% desses centros já haviam atingido o objetivo. Por meio da reutilização e reaproveitamento de componentes de servidores, a Google promove a sustentabilidade, estendendo o ciclo de vida dos equipamentos e reduzindo a necessidade de novos recursos.

1.3.2 Apurações do Relatório de Sustentabilidade da Google de 2023

1. Eficiência Energética dos Data Centers

A Google tem investido em tornar seus data centers altamente eficientes. Em média, um data center operado pelo Google é mais de 1,5 vezes mais eficiente em consumo energético em comparação aos data centers típicos. Isso é alcançado por meio de servidores de alto desempenho, controle automatizado de temperatura e iluminação, além de técnicas avançadas de resfriamento que otimizam o uso da energia.

2. Redução do Consumo Energético com IA

A empresa aplicou práticas que reduzem o consumo de energia necessário para treinar modelos de IA em até 100 vezes e as emissões associadas em até 1.000 vezes. Isso demonstra um compromisso da Google em minimizar o impacto ambiental de suas operações na nuvem, especialmente no treinamento de IA, que é altamente intensivo em energia.

3. Uso de Energia Limpa

O Google definiu uma meta ambiciosa de operar seus data centers e escritórios com energia 100% livre de carbono até 2030. Esse objetivo envolve investimentos em fontes de energia renovável e em tecnologias que otimizam o uso de energia limpa, ajudando a reduzir ainda mais as emissões de CO₂ associadas aos serviços de nuvem.

4. Ferramentas de Otimização para Clientes

Por meio do Google Cloud, a empresa oferece ferramentas como o **Active Assist**, que utiliza aprendizado de máquina para identificar cargas de trabalho não utilizadas e otimizar recursos, permitindo que clientes reduzam suas emissões de carbono ao otimizar o uso da nuvem em tempo real.

5. Carbon Sense Suite

A **Carbon Sense Suite** da Google inclui produtos como o **Carbon Footprint**, que ajudam os clientes a monitorar, reportar e reduzir as emissões de carbono associadas ao uso dos serviços em nuvem. Essa suíte oferece visibilidade e transparência no impacto ambiental das operações, incentivando práticas de TI verde.

6. Colaboração com Parceiros para Sustentabilidade

A Google colabora com parceiros em setores como energia, transporte e agricultura para ajudar a alcançar metas de sustentabilidade. Essas parcerias envolvem o uso de tecnologias da Google para rastrear emissões, prever riscos climáticos e otimizar cadeias de suprimento, promovendo uma abordagem integrada à sustentabilidade.

7. Dados e Análises Geoespaciais para Ações Climáticas

Ferramentas como o **Google Earth Engine** e o **Environmental Insights Explorer** permitem análises de dados ambientais em grande escala, ajudando cidades e organizações a planejar ações de combate ao aquecimento global. Esses recursos são utilizados para monitorar fontes de emissão e desenvolver estratégias de mitigação de carbono.

8. Inovações Tecnológicas para Sustentabilidade na Nuvem

A Google está continuamente investindo em tecnologias de nuvem que não apenas otimizam operações, mas também ajudam a mitigar os impactos das mudanças climáticas. A aplicação de IA para prever eventos climáticos extremos e otimizar operações em tempo real são exemplos de como a empresa utiliza inovação para reduzir emissões.

9. Impacto na Cadeia de Suprimentos

A Google está comprometida em engajar seus fornecedores para que adotem práticas de energia renovável e reduzam suas próprias emissões. Essa abordagem busca promover a sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos, assegurando que as metas ambientais se estendam a parceiros comerciais.

10. Relatórios e Transparência

A participação ativa da Google em iniciativas como o **Carbon Disclosure Project (CDP)** reforça o compromisso da empresa com a transparência e o engajamento em práticas de redução de carbono, motivando outras empresas a aderirem a padrões semelhantes.

1.3.3 Apurações do Relatório de Sustentabilidade da AWS de 2023

1. Eficiência Energética em Data Centers

Tecnologias de Resfriamento Sustentáveis: A AWS utiliza sistemas de resfriamento por ar livre e resfriamento evaporativo, aproveitando o ar externo e água para manter a temperatura dos servidores, o que reduz a dependência de sistemas de resfriamento energeticamente intensivos.

Chips Eficientes: Com o lançamento do Graviton4, a AWS introduziu chips que reduzem o consumo de energia em até 50% comparado aos modelos anteriores, além de melhorar o desempenho computacional.

2. Transição para Energia Renovável

Meta de 100% Energia Renovável: A AWS atingiu a meta de operar com 100% de eletricidade renovável em suas operações globais antes do prazo de 2030, com investimentos significativos em energia solar e eólica.

Investimento em Projetos de Energia Limpa: A AWS financiou 513 projetos de energia renovável, dos quais 243 são de energia solar e eólica, que além de abastecer suas operações,

também fornecem energia limpa para comunidades locais.

3. Redução de Emissões na Cadeia de Suprimentos

Parcerias com Fornecedores para Descarbonização: A AWS colabora com fornecedores para estabelecer metas de redução de emissões, um aspecto essencial para diminuir a pegada de carbono total da empresa.

Amazon Sustainability Exchange: Através dessa plataforma, a AWS compartilha recursos e melhores práticas, promovendo uma abordagem colaborativa para atingir metas de sustentabilidade no setor.

4. Inovação e Uso de Inteligência Artificial

Otimização de Recursos com IA: A AWS usa inteligência artificial para otimizar o uso de energia e recursos, incluindo o dimensionamento eficiente de embalagens para reduzir desperdícios e melhorar a logística.

Monitoramento em Tempo Real: Com tecnologias de IoT, a AWS monitora e ajusta o consumo de água e energia em tempo real, o que permite corrigir ineficiências rapidamente.

5. Compromisso com a Sustentabilidade

Neutralidade de Carbono: A Amazon se comprometeu a alcançar a neutralidade de carbono até 2040, com esforços abrangentes em data centers, logística e construção sustentável.

Economia Circular: A AWS implementa práticas de economia circular, incluindo o reaproveitamento de equipamentos e a escolha de materiais com menor pegada de carbono para suas instalações.

6. Gestão Hídrica e Sustentabilidade

Objetivo de Ser "Positiva em Água": A AWS almeja se tornar positiva em água até 2030, devolvendo mais água do que consome para as comunidades, através de projetos de reabastecimento hídrico e uso de água reciclada em suas operações.

A AWS exemplifica como a computação em nuvem, combinada com práticas sustentáveis e inovação tecnológica, pode contribuir substancialmente para a sustentabilidade ambiental. Ao investir em eficiência energética, transição para fontes renováveis, e colaboração com a cadeia de suprimentos, a AWS avança na promoção de uma economia mais sustentável e na redução de sua pegada de carbono. Esses pontos reforçam o papel da computação em nuvem como uma aliada no combate às mudanças climáticas.

1.4 Análise Geral dos Relatórios de Sustentabilidade

A avaliação dos relatórios de sustentabilidade de gigantes da tecnologia, como Google e AWS, destaca a importância vital da computação em nuvem para a sustentabilidade e a diminuição da emissão de carbono. As duas companhias evidenciam um compromisso constante com a eficiência energética, a utilização de energias renováveis, a economia circular e o avanço em tecnologias de inteligência artificial com o objetivo de diminuir o impacto ambiental de suas atividades.

Os data centers da Google e AWS foram concebidos para serem extremamente eficazes. Por exemplo, o Google exibe um índice de Eficiência no Uso de Energia (PUE) de 1,10, superando a média do setor e destacando seu empenho em reduzir o desperdício energético. A AWS aplica sistemas de resfriamento avançados, tais como resfriamento a ar livre e evaporativo, que se valem do ar externo e da água para diminuir a demanda por sistemas convencionais e altamente

energéticos. Adicionalmente, a AWS criou chips de computação, como o Graviton4, que diminuem o uso de energia em até 50% em comparação aos chips anteriores, sem prejudicar o rendimento.

A dedicação à energia renovável é um dos alicerces dessas estratégias. A Google trabalha com 64% de energia sem carbono e tem como meta alcançar 100% até 2030. Por outro lado, a AWS atingiu o objetivo de operar com 100% de energia renovável em 2023, sete anos antes do prazo estipulado. As duas companhias fazem grandes investimentos em energia solar e eólica, com centenas de projetos que não só atendem às suas atividades, mas também geram energia limpa para as comunidades onde estão inseridas.

As duas companhias utilizam inteligência artificial em suas operações para otimizar a eficiência. O Google diminuiu consideravelmente a energia requerida para treinar modelos de Inteligência Artificial, enquanto a AWS emprega IA para aprimorar o uso de energia e acompanhar recursos em tempo real, possibilitando modificações que minimizam o desperdício. Também é crucial a cooperação com fornecedores e parceiros. Por exemplo, a AWS promove o engajamento de fornecedores em práticas de descarbonização e divulga suas práticas sustentáveis através do Amazon Sustainability Exchange, expandindo o efeito positivo para além de suas operações internas.

Outro aspecto importante é a dedicação à economia circular. O Google tem como meta mover 90% dos resíduos de seus centros de dados para fora dos aterros sanitários e incentiva o reaproveitamento de peças de servidores para estender a durabilidade dos aparelhos. A AWS também implementa práticas de economia circular, reciclando equipamentos e optando por materiais de construção de baixo impacto ambiental, evidenciando uma gestão consciente do uso de recursos.

Em última análise, a transparência é um valor crucial para ambas as companhias, que colaboram em projetos como o Carbon Disclosure Project (CDP), revelando minuciosamente suas práticas e progressos na área de sustentabilidade. A AWS assume publicamente o compromisso de alcançar a neutralidade de carbono até 2040, intensificando sua dedicação à diminuição das emissões e a um futuro mais sustentável.

Estes relatórios de sustentabilidade demonstram como a computação em nuvem pode ser uma ferramenta eficaz na diminuição das emissões de CO₂ e na luta contra as alterações climáticas. A união de práticas de eficiência energética, mudança para energias renováveis, aplicação de inteligência artificial e economia circular possibilita que companhias como Google e AWS não só diminuam sua pegada de carbono, mas também estimulem outras entidades a implementarem práticas de tecnologia verde. Essas táticas destacam a importância da computação em nuvem na formação de uma economia sustentável e no progresso rumo a um futuro com responsabilidade ambiental.

1.5 Recomendações para Adoção Sustentável de Computação em Nuvem

Ao proporcionar escalabilidade e flexibilidade, a computação em nuvem se estabeleceu como um instrumento crucial para a transformação digital e sustentável. No entanto, para potencializar suas vantagens ambientais e econômicas, é imprescindível implementar práticas que estejam em conformidade com os princípios da TI verde.

Esta seção fornece sugestões fundamentadas em pesquisas e práticas notadas em grandes empresas e relatórios de sustentabilidade, com a finalidade de guiar as empresas na implementação de soluções sustentáveis de nuvem computacional.

1. Alinhar a Estratégia Empresarial com Práticas Sustentáveis

As empresas devem integrar metas de sustentabilidade em suas estratégias organizacionais, promovendo o uso responsável da computação em nuvem. Como sugerido por Murugesan (2008), práticas como a redução do consumo de energia e o uso de tecnologias verdes devem ser incorporadas desde o planejamento até a execução. Além disso, indicadores de desempenho

ambiental, como a pegada de carbono e o consumo energético, devem ser monitorados regularmente para garantir alinhamento com os objetivos sustentáveis.

2. Escolher Provedores Comprometidos com Sustentabilidade

Estudos indicam que provedores como Google Cloud, AWS têm liderado esforços para operar data centers com energia 100% renovável, reduzindo as emissões de carbono em até 80% em relação a data centers locais (HAIG, 2021).

Assim, priorizar provedores com certificações ambientais, como a ISO 14001, e acesso a ferramentas de monitoramento de emissões, como o "Carbon Footprint Tool" da Google, é fundamental para alcançar práticas de TI verde.

3. Implementar Virtualização e Consolidação de Recursos

A virtualização é um dos pilares da computação em nuvem e permite a utilização eficiente de recursos físicos, reduzindo o consumo energético e o desperdício eletrônico (TRIVEDI *et al.*, 2014).

De acordo com estudos de Trivedi *et al.* (2014), a consolidação de servidores em ambientes virtualizados pode diminuir o consumo de energia em até 95%. Organizações devem priorizar a adoção dessa prática para maximizar a eficiência dos recursos computacionais.

4 Capacitação e Mudança Cultural

A transição para uma infraestrutura sustentável depende da preparação dos profissionais. Segundo Lacy *et al.* (2020), organizações que investem em treinamento para práticas de TI verde observam maior adesão interna e resultados operacionais mais eficientes. Além disso, promover uma mudança cultural que valorize a sustentabilidade é essencial para o sucesso dessas iniciativas.

5. Investir em Pesquisa e Desenvolvimento

A inovação contínua é essencial para superar os desafios ambientais associados ao setor de TI. Como apontado por Google (2024), o uso de IA para otimizar o consumo de energia e prever demandas futuras é uma área promissora. Essa abordagem permite que data centers ajustem dinamicamente a alocação de recursos, reduzindo o desperdício e promovendo a eficiência energética.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conclusão deste trabalho destaca o papel da computação em nuvem na promoção da sustentabilidade ambiental e na redução dos impactos do aquecimento global. Através da análise dos estudos de caso, observou-se que a implementação de serviços de computação em nuvem em diversas empresas contribuiu para a redução do consumo energético e das emissões de CO₂. Essas iniciativas não apenas ajudaram a reduzir a pegada de carbono, mas também otimizaram o uso de recursos, reduziram custos operacionais e melhoraram a eficiência geral dos processos de TI. A migração para a nuvem possibilitou ainda uma redução na necessidade de hardware físico, diminuindo o desperdício eletrônico e reforçando o compromisso com a sustentabilidade.

Entre os desafios comuns enfrentados pelas empresas na adoção da computação em nuvem, destacam-se o alto custo inicial de implementação e a complexidade de integrar sistemas legados com as novas infraestruturas de nuvem. Além disso, a mudança cultural e a necessidade de profissionais com habilidades técnicas específicas para gerenciar a infraestrutura em nuvem foram obstáculos recorrentes. Essas dificuldades, embora impactantes, demonstram a necessidade de um

planejamento estratégico e de investimentos em capacitação para uma adoção bem-sucedida de práticas de TI verde.

A análise dos relatórios de sustentabilidade da Google e da AWS, principais provedores de serviços de computação em nuvem e TI, revelou que essas empresas investem de maneira significativa em medidas voltadas para a sustentabilidade. A Google, por exemplo, estabeleceu uma meta ambiciosa de operar com 100% de energia livre de carbono até 2030, enquanto a AWS já atingiu esse objetivo, investindo em centenas de projetos de energia renovável, incluindo energia solar e eólica. Ambas as empresas implementam práticas inovadoras, como o uso de tecnologias de resfriamento avançadas, desenvolvimento de chips energeticamente eficientes e uso de IA para otimização de consumo, além de promoverem a economia circular ao reutilizarem componentes de seus data centers.

A conclusão geral é que, ao adotar serviços de nuvem de provedores comprometidos com práticas de sustentabilidade, as empresas não só contribuem para a redução de sua própria pegada de carbono, mas também apoiam, de forma indireta, o compromisso ambiental desses fornecedores. Assim, a escolha de provedores que seguem rigorosamente diretrizes de sustentabilidade torna-se fundamental para maximizar os benefícios ambientais da computação em nuvem. Essa escolha representa um impacto positivo que vai além das operações internas, contribuindo para um ecossistema tecnológico mais responsável.

Essas pequenas conquistas, como a economia de energia e a redução das emissões de CO₂, representam avanços fundamentais na luta contra o aquecimento global. Cada redução mínima no consumo energético ou na emissão de gases de efeito estufa, embora pareça pequena em escala individual, contribui de forma acumulativa para o enfraquecimento do efeito estufa. Como o aquecimento global é um fenômeno complexo e abrangente, combatê-lo exige uma soma de esforços contínuos em todas as áreas – das pequenas mudanças tecnológicas às grandes transformações industriais.

Por fim, o estudo propõe a adoção de melhores práticas para a implementação de atividades sustentáveis em TI, com um foco específico na computação em nuvem. Recomenda-se o desenvolvimento de políticas que incentivem a eficiência energética, a redução de emissões e a utilização de energias renováveis em data centers. Ao fortalecer esses compromissos, empresas de todos os setores poderão não apenas melhorar seu desempenho operacional e econômico, mas também contribuir para um futuro mais sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZON WEB SERVICES, *Amazon Sustainability Report*. 2023 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.aboutamazon.com/2023-amazon-sustainability-report.pdf>. Acesso em 10 set. 2024.

ARMBRUST, M. et al. *A view of cloud computing*. Communications of the ACM, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1721654.1721672>. Acesso em 7 jul. 2024.

BALIGA, J. et al. Green cloud computing: *Balancing energy in processing, storage, and transport*. Proceedings of the IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers, v. 99, n. 1, p. 149–167, 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5559320>. Acesso em 5 ago. 2024.

BERL, A. et al. *Energy-efficient cloud computing*. The computer journal, v. 53, n. 7, p. 1045–1051, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/46116227_Energy-Efficient_Cloud_Computing.

GOOGLE. *Google's 2023 Environmental Report*. 2023 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2023-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024.

GIL, A. C. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. [s.l.]. Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em 05 dez. 2024.

GOOGLE. *Google's 2023 Environmental Report*. 2023 [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2023-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024.

GOOGLE. *Google's 2024 Environmental Report*. 2024 [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2024-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024.

HANSEN, J. et al. *Global temperature change*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 103, n. 39, p. 14288–14293, 2006. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0606291103>. Acesso em 18 jun. 2024.

LACY, P. et al. *O verde por trás de cloud*. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/manual/r3/pdf/pdf-139/Accenture-O-verde-por-tras-de-Cloud.pdf>. Acesso em 9 nov. 2024.

LENTON, T. M. et al. *Climate tipping points - too risky to bet against*. Nature, v. 575, n. 7784, p. 592–595, 2019. Disponível em: https://eplanning.blm.gov/public_projects/nepa/109410/20017600/250023584/Lenton_2019m_Tipping_point_s--too_risky_to_bet_against.pdf. Acesso em 08 out. 2024.

LEVIN, K. *Half a degree and a world apart: the difference in climate impacts between 1.5°C and 2°C of warming*. World Resources Institute, 8 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/half-degree-and-world-apart-difference-climate-impacts-between-15c-and-2c-warming>. Acesso em: 14 ago. 2024.

LUNARDI, G. L.; SIMÕES, R.; FRIO, R. S. *TI Verde: uma análise dos principais benefícios e práticas utilizadas pelas organizações*. REAd, v. 20, n. 1, p. 1–30, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/read/a/8KzGRQSRSPnDWRfWpcqbgFy/?lang=pt#>. Acesso em 25 out. 2024.

MELL, P. M.; GRANCE, T. *The NIST definition of cloud computing*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2011. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>. Acesso em 12. Jul. 2024.

MURUGESAN, S. *Harnessing green IT: Principles and practices*. IEEE Xplore, v. 10, n. 1, p. 24–33, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4446673>. Acesso em 12 jun. 2024.

NASA SCIENCE. *The Causes of Climate Change*. 2024 Disponível em: <https://science.nasa.gov/climate-change/causes/>. Acesso em: 6 nov. 2024.

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). *Climate change 2014: synthesis report*. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso em 30 jun. 2024.

PINTO, M. F. M.; DE CAMPOS, P. K.; DE AZEVEDO, V. R. *Sustentabilidade de data centers com o uso da ti-verde*. Revista Científica e-Locução, v. 1, n. 20, p. 18, 2021. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/420>. Acesso em 15 nov. 2024.

RODRIGUES, G. C.; GALDINO, L. R.; ANTUNES NETO, J. M. *Application of Cloud Computing in small and medium-sized enterprises: Systematic review*. Revista Prospectus, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.5558981>. Acesso em 25 nov. 2024.

SALLES, A. C. et al. *Tecnologia da Informação Verde: Um Estudo sobre sua Adoção nas Organizações*. Revista de Administração Contemporânea, v. 20, n. 1, p. 41–63, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/3fWDvfM53dCn7YYSm5vn3yb/#>. Acesso em 20 nov. 2024.

TRIVEDI, Rajender; SHARMA, Rajani. *Case study on environmental impact of cloud computing*. IOSR Journal of Computer Engineering, v. 16, n. 2, p. 81-86, 2014. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol16-issue2/Version-6/M016268186.pdf>. Acesso 22 nov. 2024.