REVISTA

BOLETIM DO GERENCIAMENTO

REVISTA ELETRÔNICA

ISSN: 2595-6531

Politécnica
UFRJ

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

SUMÁRIO

A RELAÇÃO ENTRE A ECONOMIA DO GARIMPO E A INFRAESTRUTURA URBANA DA CIDADE DE ITAITUBA – PARÁ
The relationship between the mining economy and the urban infrastructure of the city of Itaituba - Pará
ESCÓSSIO, Lucca Adib Reis de Souza; SILVA JR, Marcos Antônio Barbosa da 01

SISTEMA DE BILHETAGEM ELETRÔNICA PARA TRANSPORTE PÚBLICO: UM ESTUDO REALIZADO NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UFRJ
Electronic ticketing system for public transport: a study carried out on the UFRJ university campus
OLIVEIRA, Liana Maria Figueiredo; ALVES, Rosane Martins; GONTIJO, Eleuza Coelho 14

APLICAÇÃO DO BIM EM AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL
Application of BIM in Residence Automation
BARBOSA, Murilo Divino F.; MACIEL, Ana Carolina F.; SOUZA JR, Dogmar Antonio 26

PLANO DE AÇÃO CLIMÁTICA DO RIO: HORTAS URBANAS E PARQUES NA ÁREA DE PLANEJAMENTO 3
Rio Climate Action Plan: Urban Gardens and Parks in Planning Area 3
CAMPOS, Raquel; PERTEL, Monica 36

DESEMPENHO TÉRMICO E ECONÔMICO DE VIDROS DE CONTROLE SOLAR NA REGIÃO AMAZÔNICA: UM ESTUDO EXPERIMENTAL
Thermal and economic performance of solar control glasses in the amazon region: an experimental study
DANTAS, Bárbara; DE OLIVEIRA, Douglas; OLIVEIRA, Clei; UBAIARA, Alaan 51

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA DOS MÉTODOS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS FOTOVOLTAICOS
Systematic literature review of photovoltaic waste value methods
OLIVEIRA, Natalia de S. B.; DA COSTA, Bruno Barzellay F.; PINTO, Augusto Eduardo M. 63

TEMPERATURE PREDICTION FOR INDOOR ENVIRONMENTS USING SENSORS AND LINEAR REGRESSION
Predição de temperatura para ambientes internos usando sensores e regressão linear
GONZÁLEZ, Jorge; WILLCOX, Laryssa; STOLZ, Carina; HADDAD, Assed……..…… 82

POTENCIAL DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E REDUÇÃO DE EMISSÕES UTILIZANDO A NORMA ISO 50.000
Potential for Improving Energy Performance and Reducing Emissions Using ISO 50,000
NOGUEIRA, Renzo Tanos da Silva Santos; RODRÍGUEZ, Carlos Eymel Campos 94

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UNIVERSIDADES FEDERAIS BRASILEIRAS: AS PRINCIPAIS PRÁTICAS ADOTADAS
Energy Efficiency in Brazilian Federal Universities: The Main Practices Adopted
DE ALMEIDA, Taísa C. S. Melo; LOPES, Maria Aparecida de O.; QUEIROZ, Luciara F.; RIBEIRO, Fábio F.; PINTO, Augusto Eduardo M.; DA COSTA, Bruno Barzellay F 105

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

A relação entre a economia do garimpo e a infraestrutura urbana da cidade de Itaituba – Pará

The relationship between the mining economy and the urban infrastructure of the city of Itaituba - Pará

ESCÓSSIO, Lucca Adib Reis de Souza[1]; SILVA JÚNIOR, Marcos Antônio Barbosa da[2]
Escossiolucca11@gmail.com[1]; marcos.abs@ufopa.edu.br[2].

[1]Bacharelando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Itaituba, Itaituba - Pará.
[2]Professor Adjunto de Engenharia Civil, Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Itaituba, Itaituba - Pará.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Análise Quantitativa
Obras de Engenharia
Gestão Municipal

Keywords:
Quantitative Analysis
Engineering Works
Municipal Management

Resumo:

O estudo investiga a relação entre investimentos em infraestrutura e as receitas geradas pela extração de ouro em Itaituba, Pará. A infraestrutura é definida como serviços e obras em áreas essenciais como transporte, energia, saneamento e comunicação. O estudo enfatiza a importância da infraestrutura para o desenvolvimento econômico e social, e a necessidade de alinhamento dos investimentos com as realidades locais. A pesquisa foi conduzida através de um estudo de caso de Itaituba, utilizando uma análise quantitativa e comparativa dos dados financeiros e de obras de engenharia do município nos últimos 6 anos (2018 a 2023). A análise apontou ineficiências na infraestrutura básica e urbana, como saneamento e transporte, o que prejudica a qualidade de vida e limita o desenvolvimento econômico. A pesquisa sugere que para promover um crescimento econômico sustentável e melhorar a infraestrutura básica, é necessário um melhor planejamento e alinhamento dos investimentos com as necessidades reais do município.

Abstract

The study investigates the relationship between infrastructure investments and revenues generated by gold mining in Itaituba, Pará. Infrastructure is defined as services and works in essential areas such as transportation, energy, sanitation and communication. The study emphasizes the importance of infrastructure for economic and social development, and the need to align investments with local realities. The research was conducted through a case study of Itaituba, using a quantitative and comparative analysis of the municipality's financial and engineering works data in the last 6 years (2018 to 2023). The analysis pointed out inefficiencies in basic and urban infrastructure, such as sanitation and transportation, which harm the quality of life and limit economic development. The research suggests that in order to promote sustainable economic growth and improve basic infrastructure, better planning and alignment of investments with the real needs of the municipality are necessary.

1. Introdução

Obras de infraestrutura são todas aquelas, sejam verticais ou horizontais, ligadas à comunicação, energia e transporte [1]. Para além dessa definição, também é possível compreender que a infraestrutura é o conglomerado dos serviços prestados nas áreas de rodovias, ferrovias, portos, aeroportos, informação e comunicação, energia elétrica, coleta de resíduos sólidos, gás natural, abastecimento de água, irrigação e drenagem [2].

Entretanto, além dessas definições, ainda podemos classificar a infraestrutura em dois setores, sendo: a social e urbana; e a econômica. A infraestrutura social e urbana tem por objetivo atender as demandas básicas da população, que é conhecida pelo termo popular de “infraestrutura básica”. A infraestrutura econômica, por outro lado, são as obras ligadas à facilitação e à promoção das medidas necessárias para a implantação de meios de produção em determinada área [3].

Os benefícios causados pela implantação de infraestrutura nas zonas beneficiadas, podem ser plenamente reconhecidos pelos setores de atividades de cunho econômico e até mesmo pela população, dito posto, que a infraestrutura está estritamente ligada ao crescimento econômico e a redução da desigualdade social [4].

Consonante a isso, é possível destacar a importância de conhecer a relação entre a economia e a infraestrutura, e entender como estas se comportam e como podem afetar cada setor em específico [3]. Nesse sentido, os investimentos devem ser condizentes com a realidade e a finalidade do meio ao qual está sendo aplicado, para que, então, seja efetivo de fato.

Guimarães e Freitas [5] analisaram a relação entre a economia e a infraestrutura no âmbito nacional, compreendendo e relatando as nuances do desenvolvimento econômico em resposta aos investimentos de infraestrutura, e vice-versa. Os autores evidenciaram que o maior desenvolvimento em setores econômicos ocorrera nos anos em que houve um maior investimento em infraestrutura.

Dessa forma, é possível compreender que a gestão urbana será efetivada através de instituições de cunho político, econômico, cultural e social, que terão a capacidade de impulsionar o desenvolvimento do potencial da região onde está atuando. A principal finalidade é proporcionar o desenvolvimento social e econômico através de infraestrutura básica e geração de emprego e renda, dessa forma, enfrentando a pobreza e a marginalidade [6].

Para isto, é necessário compreender o quanto a infraestrutura é importante para o desenvolvimento da economia, entretanto, em diversos lugares do Brasil, ainda é possível identificar pontos que atuam para dificultar o desenvolvimento econômico, por conta da ineficiência das infraestruturas implantadas ou pela ausência [4]. Isto posto, o desenvolvimento econômico e social pode ser verificado a partir dos resultados (ou indicadores) e da relação com os investimentos associados à infraestrutura.

Em conformidade a isto, a alocação eficaz das verbas municipais, de certa forma, pode trazer benefícios a economia do município, pois podem proporcionar retornos maiores que o esperado, em relação aos investimentos no setor de infraestrutura, no quesito de crescimento e bem-estar da população e ao setor econômico [7]. Semelhante a isso, [8] destacam em sua pesquisa o impacto dos investimentos em infraestrutura no combate à desigualdade social, através da análise de determinado período no Brasil, conseguiram identificar maior distribuição de renda à medida que os investimentos em infraestrutura aumentaram.

Com todos os pontos positivos destacados e benfeitorias à economia devido a implantação de infraestruturas pontuados, é cabível uma análise em relação ao cenário oposto. Outrossim, um território qual negligência sua infraestrutura, caindo em deterioração, os resultados serão o extremo oposto, pois, os desejos dos agentes de

investimentos nos setores econômicos serão limitados. Logo, ao ver tal situação sem perspectiva de retorno de seus investimentos e abandono do cenário de implantação, este se verá desmotivado a seguir com seus investimentos. Dessa forma, o território sendo reduzido a uma baixa potência de investimento econômico, atraindo cada vez menos investidores [9].

Assim como investimentos alocados a territorial nacional, visualizando impactos de maior dimensão e interesse geral, um município também tem a capacidade de reconhecer e trabalhar de acordo com a sua realidade. Ao reconhecer as suas capacidades e viabilidade, um município e aqueles que o representam, através dos meios disponíveis, como obras de infraestrutura e incentivos fiscais, estes têm o poder de promover a economia local de acordo com a sua realidade e interesse da região.

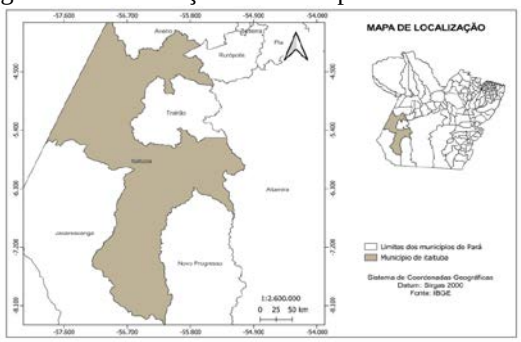
Diante do contexto, este trabalho analisou a relação entre as receitas advindas da exploração dos minérios metálicos, assim como a receita total, em comparação ao quantitativo de serviços e obras de engenharias do município de Itaituba, localizada no sudoeste do estado do Pará. Para isso, foi realizado um levantamento de informações referente aos impostos da atividade garimpeira e como isso se reflete em investimento na cidade. Por fim, foram constituídos tabelas e gráficos de comparação com os dados disponibilizados no portal de transparência do município.

2. Percurso Metodológico

2.1 Caracterização do Município de Itaituba - Pará

O município de Itaituba (Figura 1), popularmente conhecido como “cidade pepita”, está localizado na região do médio Tapajós, no estado do Pará, com 123.312 habitantes e um território com extensão territorial de 62.042,472 km² [10]. Do total territorial, apenas 33,42% são urbanizados e, desse, 20,3% possuem esgoto sanitário adequado [10]. A economia do município é fundamentada, principalmente, em três setores, sendo: a pecuária, a indústria e a mineração [11].

Figura 1 – Localização do município de Itaituba-PA.



Fonte: Teixeira e Souza [12]

A dinâmica econômica do município pode ser compreendida dentro das seguintes atividades: comércio atacadista de máquinas e equipamentos de terraplanagem, mineração e construção (partes e peças), extração de minério de materiais preciosos e fabricação de cimento [13]. Esta última podendo ser descartada, pois a empresa ITACIMPASA, responsável pela movimentação do setor de “fabricação de cimento” suspendeu suas atividades no ano de 2018 [14].

A mineração é um setor que foi fortemente explorado no município, principalmente nas décadas de 80 e 90, sendo um atrativo para migrantes e imigrantes, o que de certa forma, ocasionou uma expansão urbana acelerada e desorganizada. Tais ocorrências, por sua vez, desencadearam degradação ambiental, desenvolvimento urbano irregular e sem planejamento e aumento significativo da pobreza em áreas periféricas [11].

Com relação a geração de empregos, os setores com maior índice de contratação são: a metalurgia dos metais não-ferrosos, construção de rodovias e a extração de minerais metálicos não-ferrosos. Na região sudoeste do Pará, Itaituba é o segundo município com maior índice de abertura de empresas, entretanto, ao olhar para a distribuição de renda, uma problemática pode ser levantada, uma vez que indivíduos de classe D e E, compõe mais de 50% da população [15].

Dessa forma, diante dos dados apresentados, a economia de Itaituba não está mais concentrada em um único ramo, como pôde ser observado nas décadas de 70 a 90 [16], embora parte da população local ainda insista na afirmação. Há inúmeros segmentos que movimentam a economia local e muitos outros com potencial, porém inexplorados, que podem contribuir para com o desenvolvimento do município [16].

Itaituba, na década de 70, foi estimulada ao crescimento urbano, tendo como principal estimulador a exploração mineral, que foi auxiliada por intervenções governamentais de âmbito federal, com ênfase na implantação de rodovias [17]. Assim sendo, com a implantação das rodovias e conectando ao restante do país, foi possível facilitar uma rota de migração para a Amazônia e, simultaneamente a isto, o governo federal, através dos "Projetos Integrados de Colonização", disponibilizou uma área no perímetro da BR-163, logo, Itaituba também estava inserida, para colonização e reforma agrária [18].

A BR-163 é uma das rodovias que dão acesso a região de Itaituba, juntamente com a Transgarimpeira e Transamazônica, e começaram a se desenvolver na década de 70 através do governo federal, todavia, até o presente momento não foram concluídas devidamente. Esta é só uma, dentre muitas obras esperadas pelos indivíduos que possam ser contemplados com a construção para auxiliar no desenvolvimento de seus empreendimentos e, logo, contribuir com o crescimento econômico do município [18].

A abertura de estradas que concederam o acesso ao município de Itaituba e o período do ciclo econômico de extração minério metálico, em específico o ouro, fomentaram o crescimento populacional e o aumento do PIB municipal [16]. O crescimento da população foi observado em 817%, no período de 1970 a 1991, e o PIB chegou a aumentar 613%, entre 1970 e 1980 [16].

Ainda que estes aumentos tenham sido expressivos, não houve contrapartida em relação ao desenvolvimento urbano e uma economia sustentável. Diante disto, é possível constatar a ausência de tomadas de decisões por parte do poder público de modo a promover uma dinâmica econômica no município, para que assim haja uma economia sustentável e que coopere para o desenvolvimento [13].

No decorrer dos anos e o desenvolvimento da atividade de extração mineral, é possível avaliar o desenvolvimento do município em relação a este aspecto. Ao longo dos anos, com o fortalecimento da atividade extrativista, e os olhos de indivíduos e empresas que possuíam interesse na atividade voltados para o município, o processo de expansão da malha urbana no território, foi uma, dentre muitas das consequências [19].

Apesar dos avanços em relação a ocupação do território do município de Itaituba, o mesmo desenvolvimento não pode ser observado no setor urbanístico da cidade. Isto pode ser observado quando analisamos a ausência da infraestrutura básica, como a ocupação de áreas irregulares e a falta de saneamento básico [17].

Somado a isto, outros fatores entram em questão, pois, com o desenvolvimento acelerado nos setores urbano, industrial e tecnológico, o fornecimento de água fica comprometido [20]. Desta forma, assim como o uso da água para consumo da população pode ficar comprometido, a ausência na oferta de esgoto sanitário apropriado, expõe a população a outros riscos sanitários, situação essa que é observada atualmente, indicando uma necessidade de investimentos na infraestrutura local [20].

De acordo com dados levantados pelo IBGE, por exemplo, Itaituba ainda precisa de muitos investimentos ligados a infraestrutura básica, como o saneamento básico [21]. Embora, o município já conte com a oferta de água tratada para uma parte da população, [13] destacam sobre a ausência de transporte coletivo de passageiros, pois, o município não é contemplado com um sistema de transporte coletivo de passageiros e terminal rodoviário para esta finalidade.

Diante disto, é possível identificar as dificuldades de implantação de infraestrutura econômica, outrora, o município não dispõe sequer da infraestrutura social básica.

Ademais, para que ambas as infraestruturas sejam desenvolvidas efetivamente é necessário possuir um conhecimento nos âmbitos da dinâmica do desenvolvimento populacional e econômico, para então obter as informações necessárias para o desenvolvimento de um planejamento municipal adequado para o município de Itaituba [16].

2.2 Procedimento de coleta de dados

Levando em consideração a caracterização do município e suas disposições sobre a economia e obras de infraestruturas, esta pesquisa, através de um estudo de caso, buscou analisar, de forma quantitativa e comparativa, os dados de receita, despesas e obras de engenharia do município. Outrora, simultaneamente a esta análise, devido à forte relação do município com a atividade garimpeira, mais especificamente de extração do ouro, também foram analisadas as receitas provenientes desta atividade.

Neste sentido, de modo a compor os resultados, a pesquisa dividiu-se em quatro etapas:

1 Compreensão de quais receitas (Imposto, Fundo, Financiamento, Repasse e afins) está relacionadas a atividade garimpeira/ouro;

2 Localização de dados de receita e despesa do município;

3 Localização de dados de obras de engenharia executadas;

4 Sintetização e composição dos resultados.

Haja vista que o objetivo desta pesquisa é realizar uma análise comparativa dos dados, estabeleceu-se uma linha temporal a partir de 2018 a 2023, sendo estes anos, a base para a busca dos dados. Portanto, após pesquisa, os dados levantados foram:

- Informações sobre receitas relacionadas a extração/comercialização do ouro (Fonte de busca: Ministério da Fazenda e Ministério de Minas e Energia);

- Receitas do município de Itaituba, inclusive os específicos de atividades relacionadas ao ouro (Fonte de busca: Governo Transparente);

- Despesas do município de Itaituba, inclusive as específicas de obras executadas (Fonte de busca: Governo Transparente);

- Relação de obras e serviços públicos de engenharia do município de Itaituba (Fonte de busca: Governo Transparente).

Posteriormente a coleta das informações, estas passaram por uma análise, e então foram transferidas para planilhas eletrônicas, classificando-as de acordo com o seu ano e recorte dos dados necessários para a análise. Por fim, na condução da análise dos dados, foram constituídas tabelas e gráficos comparativos com as informações obtidas, utilizando-se de tratamento básico estatístico.

3. Resultados e discussão

Dando-se a importância a compreensão sobre a arrecadação de impostos referente à extração e comercialização do ouro no município, têm-se o Imposto sobre Operação Financeira (IOF-Ouro), que é a tributação sobre o ativo financeiro [22] e a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) [23].

O IOF-Ouro não possui uma predestinação especificada, sendo repassado mensalmente ao município o valor arrecadado. Por outro lado, a CFEM prescreve a sua destinação e porcentagens, como por exemplo, o investimento em educação, principalmente a educação básica e incentivos ao desenvolvimento tecnológico, e diversificação econômica do município, sendo 20%, no mínimo, da parcela de 60% do CFEM repassados ao município, para a tal diversificação [23].

Como foi tratado anteriormente, a economia e a infraestrutura estão diretamente ligadas, portanto, sendo indispensável o investimento no eixo de infraestrutura do município. Diante disto, foi realizado o levantamento dos dados de arrecadação e receita do município de Itaituba – Pará. O valor arrecadado de IOF-Ouro e CFEM (Vide Tabela 1 no Apêndice A) é repassado totalmente ao município de forma integral, sendo somado às receitas do município.

A CFEM é um valor arrecadado pelo Ministério de Minas e Energia, repassado de acordo com suas porcentagens já pré-definidas. Assim como todos os outros impostos, sua prestação de conta ocorre de forma transparente nos sites do governo.

Pode-se observar, também, que embora a CFEM total arrecadada do município leve em consideração outras substâncias, além das substâncias de interesse deste material de estudo, a maior parcela está ligada a extração de Minério de Ouro, Ouro e Ouro Nativo.

Para entender como estes dados comportam-se em aspectos geral, os dois valores serão somados e colocados em comparação com a receita total do município na Tabela 2 no Apêndice B, para ser verificado se o garimpo realmente há de fato um impacto na economia itaitubense.

Como pode ser analisado nos dados da Tabela 2 no Apêndice B, as receitas diretamente ligadas à extração e comercialização do ouro somadas representam pouco mais de 10%, e isso somente nos três últimos anos analisados. Embora representem um percentual dentro da receita local, ainda assim não o suficiente para afirmar dependência da economia local de tal atividade. Por outro lado, o Gráfico 1, no Apêndice E, ilustra mostra a relação existente entre as receitas totais do município e as receitas relacionadas ao ouro, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9459 e correlação estatística entre os dados de 0,9726.

Ainda que a primeira etapa dos resultados apresente que a parcela de contribuição por parte de atividades ligadas ao ouro é pequena, uma parte desta arrecadação é destinada a diversificação econômica, que está ligada ao desenvolvimento e investimento na infraestrutura municipal. Portanto, a Tabela 3 no Apêndice C apresenta os dados referentes a serviços e obras de engenharia realizadas em Itaituba-PA.

Diante dos dados apresentados é possível verificar uma grande variação no período de 2019 a 2021, onde o ano de 2020 apresenta um volume bem alto de obras e serviços, 38, enquanto 2019 e 2021, apresentam 8 e 9, respectivamente. Por forma a assimilar um pouco mais o quantitativo de obras e serviços, a segunda parte da Tabela 3 no Apêndice C elenca a quantidade de vezes por ano que determinado serviço ou obra foi executado, de acordo com as informações dispostas no site Governo Transparente, da Prefeitura Municipal de Itaituba-PA.

Através dos dados obtidos, podemos analisar que as obras relacionadas a “Perfuração de Poço Artesiano” (22), “Construção de Unidades de Saúde” (12) e “Construção/Reforma de Escola/Creche” (46), são os tipos de serviços/obras que aparecem com maior frequência no intervalo dos 6 anos analisados. Não obstante, é inegável a boa quantidade de obras executadas no ano de 2020, ainda que neste ano estivesse em isolamento social devido à COVID-19.

Analisando as informações referentes ao quantitativo de obras executadas, torna-se necessário a compreensão das quantias dos cofres municipais destinadas as obras públicas. Com o fim de contribuir com o entendimento necessário para a pesquisa referente a relação da economia com a infraestrutura do município, a Tabela 4 no Apêndice D demonstra as despesas de Itaituba.

Outrora, os dados declarados nos acedem um alerta, o mesmo desempenho de execução de serviços e obras de engenharia, não é acompanhado nas despesas declaradas. No que diz respeito as declarações de serviços e

obras públicas, foi analisado na Tabela 3 no Apêndice C uma variação ao longo dos 6 anos, e em nenhum momento se demonstrou progressiva. Por outro lado, ao verificar as informações contidas na Tabela 4 no Apêndice D, há pequenas variações entre os anos, e o ano de pico é 2021, diferentemente da Tabela 3 no Apêndice C, que apresenta o maior quantitativo de obras no ano de 2020. Destarte, o Gráfico 2 no Apêndice F ilustra essa relação de serviços e obras de engenharia com as despesas em obras, sendo ambas informações declaradas pela Prefeitura Municipal de Itaituba.

A má distribuição de obras públicas, visualizada na Tabela 3 no Apêndice C, e a incompatibilização apresentada no Gráfico 2 no Apêndice F, ambas demonstram discordância por parte da gestão municipal ao que o Plano Diretor de Itaituba [25] apresenta no capítulo II, Art. 5º e inciso V, a saber:

> *V – Planejar o desenvolvimento da cidade, a distribuição espacial da população e as atividades econômicas no município, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente.*

Isto posto, é necessário ter em mente que para construir espaços que promovam o crescimento econômico e prospero de uma sociedade, um engenheiro não deve conhecer somente sobre construções, mas também sobre economia [26]. Ademais, a má distribuição espacial de dispositivos públicos, pode ser considerada um reflexo da administração pública do município, uma vez, que com o passar dos anos a receita total do município, assim como a proveniente de atividade relacionada ao ouro, aumentou, as obras não tiveram o mesmo progresso.

Outrora, em observação ao Gráfico 3 no Apêndice G, é exequível o entendimento de que conforme as receitas referentes ao ouro se movimentam, assim também as despesas com obras se desenvolvem. Semelhantemente a isto, o Gráfico 1 no Apêndice E também demonstrou tal ação, na conformidade em que as receitas totais aumentavam ou diminuíam, as receitas advindas do ouro também seguiam o mesmo padrão.

Concomitante a isto, o Gráfico 4 no Apêndice H apresenta um compilado dos dados que compõe os resultados e discussões desta pesquisa.

Com base nos dados apresentados, desta vez com os dados de receitas, o quantitativo de obras não acompanha o desenvolvimento do caixa público municipal, diferentemente do valor gasto com as obras executadas, que estas sim acompanham a movimentação financeira municipal. Assim como, a evolução do valor monetário relacionado a despesas com obras pouco se desenvolve na conjuntura em que a receita e despesa do município aumentam. No entanto, [27] sugere que é de responsabilidade da gestão municipal promover o desenvolvimento da economia, da instituição e sociedade através de políticas públicas que conversem diretamente com a necessidade e a demanda da população.

Considerando que para a promoção da sustentabilidade e desenvolvimento urbano, a engenharia e a economia precisam estar estritamente ligadas [27]. Tendo em conta que o Direito a Cidade prevê: a cidade com espaços públicos de qualidade, a cidade que cumpre suas funções sociais, a cidade com economia inclusiva [28]. Logo, ao analisar o gráfico, de imediato, é perceptível uma inconsistência em relação a receita com obras públicas, mesmo que a receita total não seja destinada somente a obras, ainda assim é um quantitativo muito inferior ao volume de receita, dessa forma, demonstrando uma má gestão dos recursos públicos.

4. Considerações finais

A correlação dos setores de economia e infraestrutura no município de Itaituba, ainda apresenta alguns questionamentos. Embora evidenciada a baixa participação nos cofres municipais das receitas diretamente ligadas ao ouro, ainda é de senso comum a afirmação da dependência da economia local ligada ao ouro.

Dito isto, ao olhar os recursos para a promoção da variação econômica local, conseguimos entender o baixo investimento em infraestruturas que proporcionem, de fato, o município como local de atração para implantação de empresas privadas e diversificação da economia. Uma vez que ao investir em infraestrutura, logo, o local onde há o investimento entra no mapa de locais com potencial de implantação de novos investimentos. Entretanto, cabe ressaltar, que tais investimentos sejam estudados para que o direcionamento de novos recursos e a implantação dos possíveis negócios sejam compatíveis com o potencial local, sejam eles: mão-de-obra qualificada, recursos naturais e infraestrutura.

Além da infraestrutura econômica é preciso que o município promova como o básico, a infraestrutura urbana, que são as obras ligadas à habitação, saneamento e transporte urbano. De acordo com os dados apresentados, os investimentos referentes aos setores de infraestrutura urbana são ineficientes, quando compatibilizados com os dados de despesas relacionadas a obras executadas, o que demonstra uma falha no poder público, quanto a transparência e veracidade dos dados apresentados.

As obras de infraestrutura urbana têm por intuito promover a qualidade de vida da população, baseado nas declarações do poder municipal, maior parte das obras referem-se à manutenção de serviços já existentes e a implantação de serviços que podem ser considerados até ultrapassados, como implantação de poços.

Portanto, em detrimento aos dados analisados e as lacunas observadas, é viável que se faça um levantamento e análise qualitativa das obras ligadas à infraestrutura urbana e infraestrutura econômica do município de Itaituba, verificando a sua eficácia diante do proposto e comparando-a com os meios de fornecimento atual. Para que assim, haja um aparato real das condições do município em relação ao fornecimento para a população, tanto quanto a infraestrutura de atração para novos empreendimentos.

5. Referências

[1] SEBBEN, F. D. *Infraestrutura e desenvolvimento econômico: proposta de um modelo analítico.* Economia e Sociedade, Campinas, n. 3, p. 971 – 996, 2018.

[2] SÁNCHEZ, R., LARDÉ, J., CHAUVET, P. e JAIMURZINA, A. *Inversiones en infraestructura en América Latina: tendencias, brechas y oportunidades*. Ed. Cepal, Chile, 187 p., 2017.

[3] IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Infraestrutura econômica no Brasil: diagnósticos e perspectivas*. Ipea, Brasília, 2010.

[4] ROCHA, F. V.; SAES, M. S. M. *Desenvolvimento econômico e social por meio de investimentos em Infraestrutura: O caso da BR-163*. Desenvolvimento em questão, n. 42, p. 99 -123, 2018.

[5] GUIMARÃES, I. A.; FREITAS, S. M. de. *O papel do investimento em infraestrutura e sua relação com o desenvolvimento econômico do Brasil (1940 – 2018).* Revista Observatório de la Economia Latino-americana, 2019.

[6] FERREIRA, A. dos S. *Instituições políticas locais versus instrumentos de planejamento e gestão urbana no Município de Itaituba - PA.* Revista Brasileira de Gestão de Desenvolvimento Regional, Taubaté, n. 3, p. 22 - 49, 2010.

[7] ROCHA, I. L. e RIBEIRO, R. S. M. *Capítulo 1 – Infraestrutura no Brasil: Contexto histórico e principais desafios*. Ipea, Brasília, 2022.

[8] CRUZ, A. C., TEIXEIRA, E. C. e BRAGA, M. *Os efeitos dos gastos públicos em infraestrutura e em capital humano no crescimento econômico e na redução da pobreza no Brasil*. Revista Economia, Brasil, n. 4, 2010.

[9] FRAGA, J. S.; RESENDE, M. F. C. *Infraestrutura, expectativas e investimento: evidências empíricas para*

a América Latina. Economia e Sociedade, Campinas, n. 1, 2023.

[10] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Itaituba - Panorama 2022*., Brasil, 2023. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama. Acesso em 19 out. 2023.

[11] ITAITUBA, Prefeitura Municipal. *História do município*. Itaituba, 2023. Disponível em: https://www.itaituba.pa.gov.br/cidade. Acesso em 19 out. 2023.

[12] TEIXEIRA, P. R. e SOUZA, C. A. de. *Garimpo em Itaituba (PA) e seus efeitos na saúde: um olhar sobre a relação entre a exploração mineral e a malária na região amazônica*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, Brasil, n. 2, p. 63 – 82.

[13] BRITO, M. T. A. de, SILVA, R. B. e PENA, H. W. A. *Análise da dinâmica da estrutura produtiva do Município de Itaituba, Pará – Amazônia – Brasil*. Observatório da Economia Latino-Americana, ISSN: 1696-8352, 2014.

[14] ITAITUBA. Câmara Municipal. *Requerimento n° 305/2020*. República Federativa do Brasil, Estado do Pará, Itaituba, 2020. Disponível em: https://www.itaituba.pa.leg.br/processo-legislativo/requerimentos/copy7_of_vereador-parlamentar-do-legislativo-municipal-de-itaituba/requerimentos/requerimento-ndeg305-2020-propriedade-do-grupo-sao-joao-desde-2018-a-fabrica-de-cimento-suspendeu-suas-atv.pdf. Acesso em 19 out. 2023.

[15] CARAVELA. Dados e Estatísticas. *Economia de Itaituba – PA*. Disponível em: https://www.caravela.info/regional/itaituba---pa. Acesso em 19 out. 2023.

[16] SOUZA, C. F. de. *Análise da dinâmica: população, ciclos econômicos e sistema de abastecimento de água do Município de Itaituba – Pará*. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia), Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

[17] MACHADO, E. S. *A atividade garimpeira na província mineral do Tapajós e sua influência na produção do espaço*. Anais do XV Encontro da ANPUR – ENANPUR, recife, 2013.

[18] ALENCAR, A. A. C. *Estudo de caso: A rodovia BR-163 e o desafio da sustentabilidade.* MAPAS: monitoramento ativo da participação da sociedade. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasil, 2005.

[19] AMARAL, C. F. A. C., JUNIOR, O. M. S. e LIMA, R. A. P. *Capítulo XVI: Mineração e a expansão urbana no Município de Itaituba – PA: Análise multitemporal nos anos de 2004 a 2014*. Meio ambiente e sociedade: Análise, diálogos e conflitos ambientais, Campina Grande, 2022.

[20] BAIMA, S. F. S., ABOIM, E. C., ALMEIDA, A. D. S. de, NASCIMENTO, W. S., SOARES, H. M. de S. e LIRA, J. R. de S. *Análise da qualidade da água em poços tubulares na zona urbana de Itaituba, Pará, Brasil*. Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso Notas Técnicas, 2023.

[21] AGUIAR, W. P.; SILVA, R. G.; BAIMA, S. F. S.; ANDRADE, A. de S. *Análise de políticas públicas para a garantia do tratamento de água na cidade de Itaituba - Pará. (Brasil).* Revista, Ft, Rio de Janeiro, 2023.

[22] MINISTÉRIO DA FAZENDA. *O que você precisa saber sobre as transferências fiscais da união: IOF-Ouro*. Secretaria do Tesouro Nacional, 2018.

[23] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Compensação Financeira pela Exploração Mineral. Agência Nacional de Mineração*. Disponível em: Compensação Financeira pela

Exploração Mineral - CFEM - Agência Nacional de Mineração. Acesso em 21 ago. 2022.

[24] GOVERNO TRANSPARENTE. *Prefeitura Municipal de Itaituba*. Governo Transparente. 2024. Disponível em: https://www.governotransparente.com.br/44529487?clean=false Acesso em 22 ago. 2024.

[25] ITAITUBA, Prefeitura Municipal. *Lei Municipal N° 2.884/2015: Plano Diretor*. Prefeitura Municipal de Itaituba. Itaituba, 2015. Disponível em: https://www.itaituba.pa.leg.br/leis/legislacao-municipal/2015/lei-2884-2015-aprova-o-plano-diretor-participativo-do-municipio/view Acesso em 24 ago. 2024.

[26] LOCATELLI, I. G. O., LEÃO, A. P. S., SILVA, E. A., SILVA, G. G. D. e OLIVEIRA, J. M. *Análise da interdisciplinaridade à economia e a engenharia na graduação*. Revista Foco: Interdisciplinary Studies, Curitiba, n. 2, 2024.

[27] OLIVEIRA, R. C. *Gestão pública municipal: um desafio para os gestores.* Revista Científica Multidisciplinar do Conhecimento, Brasil, n. 2, 2019.

[28] SAULE JÚNIOR, N.; LIBÓRIO, D. C. *Questões chave sobre a noção do direito à cidade.* Revista de Direito da Cidade, Brasil, n. 3, 2021.

APÊNDICE A

Tabela 1 – Arrecadação do IOF-Ouro e CFEM repassados ao município de Itaituba-PA.

Receitas	Valores (R$)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
IOF - Ouro	6.500.000,00	4.700.000,00	8.072.000,00	17.200.000,00	19.006.000,00	22.698.100,00
CFEM	2.600.000,00	6.700.000,00	12.765.500,00	30.200.000,00	33.371.000,00	44.420.000,00
Total	9.100.000,00	11.400.000,00	20.837.500,00	47.400.000,00	52.377.000,00	67.118.100,00

Fonte: Governo Transparente [24], organizado pelos autores (2024).

APÊNDICE B

Tabela 2 – Receitas do município de Itaituba-PA entre os anos de 2018 e 2023.

Receitas		Receitas Relacionadas ao Ouro	
Ano	Valor	Valor	Porcentagem de representação na receita total
2018	R$ 254.468.050,11	R$ 9.100.000,00	4%
2019	R$ 302.025.517,95	R$ 11.400.000,00	4%
2020	R$ 359.548.305,60	R$ 20.837.500,00	6%
2021	R$ 425.300.407,39	R$ 47.400.000,00	11%
2022	R$ 534.189.936,08	R$ 53.377.000,00	10%
2023	R$ 575.056.189,38	R$ 67.118.100,00	12%

Fonte – Dados do Governo Transparente, organizado pelos autores (2024).

APÊNDICE C

Tabela 3 – Serviços e obras públicas de engenharia do Município de Itaituba-PA, entre os anos de 2018 e 2023.

Descrição Serviço/Obra	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Perfuração de Poços Artesiano	1	1	13	-	-	7
Construção de Unidades de Saúde	1	1	-	3	6	1
Construção de CRAS	-	-	-	-	1	1
Construção de Escola/Creche	4	3	21	1	12	5
Construção de Feira	-	-	-	-	-	1
Construção Estrada/Ramal	1	-	-	3	3	-
Construção de Pontes	1	-	1	1	1	-
Pavimentação de vias urbanas	2	1	2	-	1	-
Construção de Abrigo/CREAS/SEMDAS	1	-	-	-	2	-
Construção de Espaço de Esporte	1	-	-	1	-	-
Reforma de Imóvel de Cultura	-	-	1	-	-	-
Obra de drenagem	-	1	-	-	-	-
Construção de Sistema Simplificado de Abastecimento de Água	-	1	-	-	-	-
Construção/Reforma de Praça/Orla	2	-	-	-	-	-
Construção de Terminal Rodoviário	1	-	-	-	-	-
Quantidade Total de Serviço/Obra Executado	14	8	38	9	26	15

Fonte – Dados do Governo Transparente [24], organizado pelos autores (2024).

APÊNDICE D

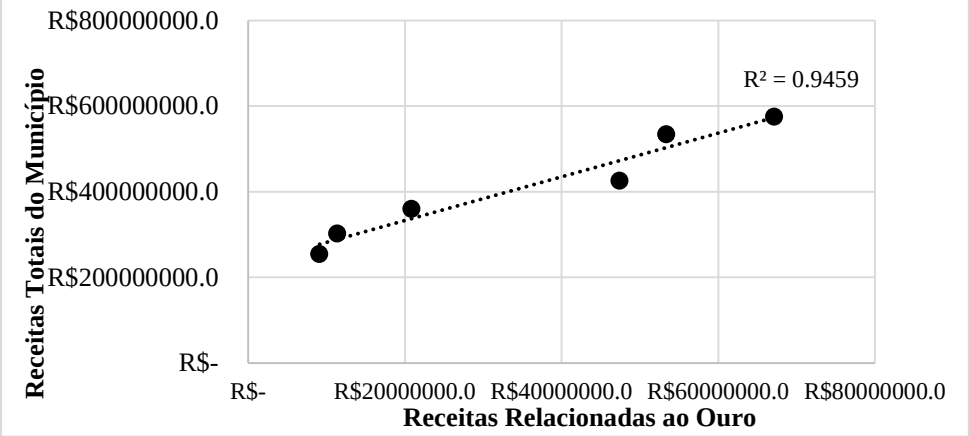
Tabela 4 – Despesas do Município de Itaituba – PA.

Ano	Despesa Total Paga pelo Município	Despesas Pagas em Obras	% das despesas com obras em relação ao total
2018	R$ 236.849.605,97	R$ 18.043.295,76	7,62%
2019	R$ 290.528.696,46	R$ 23.469.983,54	8,08%
2020	R$ 310.896.949,74	R$ 37.081.459,03	11,93%
2021	R$ 406.058.302,59	R$ 62.390.092,64	15,36%
2022	R$ 505.266.846,79	R$ 57.070.208,15	11,30%
2023	R$ 599.280.456,74	R$ 75.900.920,36	12,67%

Fonte: Governo Transparente [24], organizado pelos autores (2024).

APÊNDICE E

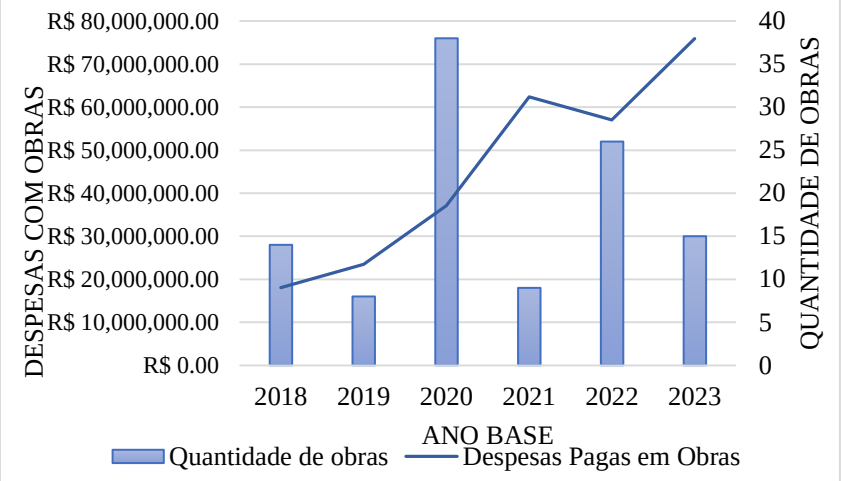
Gráfico 1 – Comparação de Receitas



Fonte: Autores (2024).

APÊNDICE F

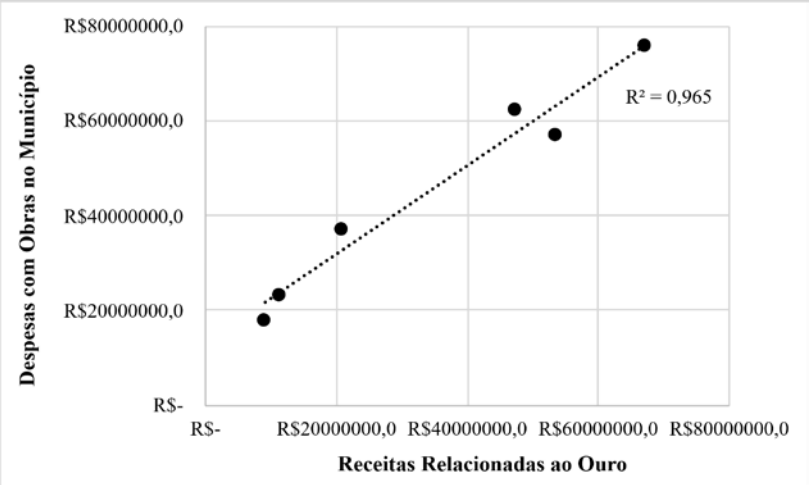
Gráfico 2 – Comparação entre as despesas com obras e obras/serviços declarados.



Fonte: Autores (2024).

APÊNDICE G

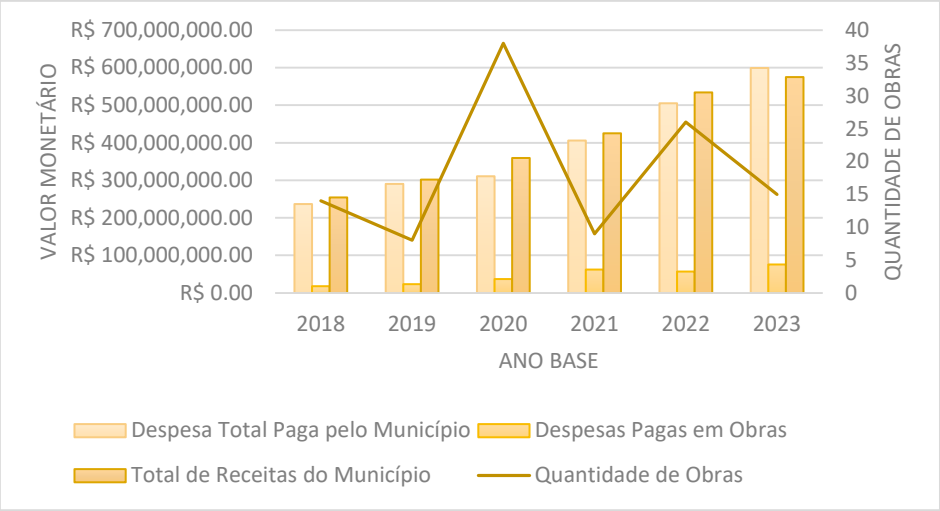
Gráfico 3 – Receitas X Obras.



Fonte: Autores (2024).

APÊNDICE H

Gráfico 4 – Relação despesas, receitas e obras.



Fonte: Autores (2024).

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Sistema de bilhetagem eletrônica para transporte público: um estudo realizado no campus universitário da UFRJ

Electronic ticketing system for public transport: a study carried out on the UFRJ university campus

OLIVEIRA, Liana Maria Figueiredo[1]; ALVES, Rosane Martins[2]; GONTIJO, Eleuza Coelho[3]
lianafigueiredo@poli.ufrj.br[1], rosane.alves@poli.ufrj.br[2]; eleuza.cg@poli.ufrj.br[3]

[1] Mestranda, Programa de Engenharia Urbana, UFRJ, Rio de Janeiro
[2] Docente, Programa de Engenharia Urbana, UFRJ, Rio de Janeiro
[3] Mestranda, Programa de Engenharia Urbana, UFRJ, Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Transporte público.
Integração modal.
Sistema de bilhetagem eletrônica.

Key words:
Public transport.
Modal integration.
Electronic ticketing system.

Resumo:

Os Sistemas de Bilhetagem Eletrônica (SBE) no transporte público além de facilitar o acesso dos usuários otimizam a operação e a gestão dos serviços de transporte. Este artigo trata da utilização dos sistemas de transporte público com foco no SBE, para melhorar a eficiência operacional dos serviços, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das cidades. É analisado o uso da bilhetagem eletrônica, especificamente do RioCard Mais, para a integração modal de transporte, no campus da UFRJ da Ilha do Fundão. Foi realizada uma pesquisa exploratória através de coleta de dados por meio de formulário on-line respondido por alunos e funcionários, servidores ou não. Como resultado foi observado que o SBE facilita o acesso ao transporte público, incentiva a integração modal e é bem aceito pela comunidade da UFRJ. Porém, observou-se que é preciso melhorias na informação do sistema, bem como em incentivos para maior integração tarifária, de modo a promover uma mobilidade mais inclusiva e sustentável na comunidade acadêmica.

Abstract

Electronic ticketing systems in public transport, in addition to facilitating user access, optimize the operation and management of transport services. This article deals with the use of public transport systems focusing on electronic ticketing, to improve the operational efficiency of transport services, contributing to the sustainable development of cities. The use of electronic ticketing, specifically RioCard Mais, for transport modal integration on the UFRJ campus on Ilha do Fundão is analyzed. An exploratory research was carried out through data collection through an online form answered by students and employees. It was observed that the electronic ticketing system facilitates access to public transport, encourages modal integration and is well accepted by the UFRJ community. However, it is necessary to promote improvements in system information and incentives for greater tariff integration,to promote more inclusive and sustainable mobility in the academic community

1. Introdução

Estima-se que em 2050 cerca de 68% da população mundial viverá em áreas urbanas. No Brasil, a projeção para o mesmo período revela que 92,4% da população residirá em assentamentos urbanos [1]. O processo acelerado e desordenado de urbanização causa problemas sociais, ambientais e econômicos, principalmente em grandes cidades, onde há maior demanda por habitações. Uma das consequências desse segmento é a segregação territorial gerada nas metrópoles, pois se torna um problema para os cidadãos que precisam se deslocar para estudos, trabalho e afins. Logo, o sistema de transporte e a mobilidade urbana fazem parte da infraestrutura crítica das cidades e têm impacto direto na rotina da população citadina.

A fim de mitigar os efeitos deste processo, deve haver um planejamento urbano integrado ao planejamento da mobilidade, como preconiza o plano de mobilidade urbana sustentável (PMUS) implementado em várias cidades brasileiras, como no Rio de Janeiro. Entre os seus princípios destaca-se a promoção da política de transporte público como um direito social, garantido na Constituição Brasileira [2]. O incentivo ao uso do transporte público e coletivo contribui como uma alternativa para reduzir a circulação de veículos privados nas vias, consequentemente, reduzir a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

Outra importante questão a ser considerada no fomento do serviço de transporte público, e faz parte das diretrizes do PMUS, é a integração entre os modos e serviços de transporte urbano. Assim, a integração entre modais pode ser vista como um facilitador da mobilidade urbana pelos cidadãos.

Há várias organizações que discutem mecanismos e métodos para melhorar a mobilidade dos centros urbanos. Pode-se citar a ABNT NBR ISO 37.122, que estabelece definições e metodologias para indicadores de transporte, entre outros temas, a fim de medir o progresso em direção a uma cidade inteligente. O documento se dedica a auxiliar as cidades a orientar e avaliar o desempenho da gestão de seus serviços urbanos, bem como a qualidade de vida [3]. Para isso, as Cidades Inteligentes utilizam tecnologias para solucionar problemas concretos e oferecer serviços com eficiência, garantindo o uso seguro e responsável de dados e das tecnologias da informação e comunicação (TIC) [4].

Indicadores funcionam como referências internacionais para fins de padronização, os da série ISO 37.120 se referem a serviços urbanos e qualidade de vida, com isso é possível quantificar e medir os dados de um local. A ABNT NBR ISO 37.122 é composta por 80 indicadores e versa sobre cidades inteligentes. O indicador 19.6, por exemplo, avalia a porcentagem dos serviços de transporte público da cidade cobertos por um sistema de pagamento unificado. Esse sistema se refere a um método integrado de pagamento de mobilidade que reduz a necessidade de os usuários de transporte público pararem para realizar pagamentos em vários pontos de transferência durante uma única viagem [3]. Além de oferecer comodidade aos usuários ao fazer o pagamento das viagens, o sistema incentiva o transporte modal múltiplo nos modos de transporte, com impacto direto no custo total da passagem e no tempo de viagem.

Os mais recentes sistemas e soluções de pagamento incluem um usuário baseado em TIC, reconhecida por impulsionar a inovação na sociedade, como cartões inteligentes (*smart card*) ou bilhetagem móvel. Pode-se dizer que a bilhetagem eletrônica é o conjunto de tecnologias e processos utilizados para viabilizar cobrança e controle de acesso aos serviços de transporte público por cartões inteligentes, aplicativos móveis ou outras soluções eletrônicas. Enquadrados no contexto de sistema inteligente de transporte, que passaram a fazer parte do cotidiano dos usuários de transporte público.

O pagamento de passagens com papel-moeda ou tíquetes de papel tem sido

reduzido, sensivelmente. A tendência é a utilização de cartões eletrônicos pré-pagos, carregados antecipadamente para utilização dos modos de transporte público. Nesse cenário é de se esperar que as pessoas envolvidas sejam ouvidas, uma vez que são usuárias e suas contribuições devem ser consideradas. Assim, o foco dessa pesquisa se baseia na investigação sobre o usuário de SBE (Sistema de Bilhetagem Eletrônica) em um campus universitário.

No estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de facilitar o acesso aos diversos modais de transporte, a empresa RioCard Mais desenvolveu soluções de bilhetagem eletrônica e produziu cartões inteligentes com diferentes categorias. Para o caso deste artigo, será analisado o sistema de bilhetagem eletrônica desenvolvido pela RioCard Mais e o uso do cartão inteligente entre a população da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) do Campus Cidade Universitária da Ilha do Fundão, para então analisar a contribuição deste sistema para o transporte público da região.

2. Materiais e métodos

Foi realizada pesquisa exploratória, com coleta de dados por meio de formulário on-line (com TCLE- Termo de consentimento Livre e Esclarecido incluído, obrigatório) realizado com alunos e funcionários, servidores ou não, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Campus Cidade Universitária. O formulário foi disponibilizado inicialmente, no período de 20 a 27 de junho de 2022, e complementado no período de 01 a 31 de agosto de 2024, com respondentes aleatórios de várias unidades do campus da UFRJ.

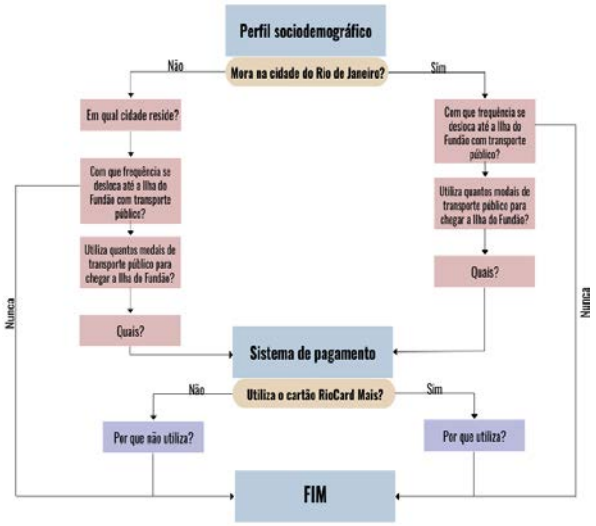
Para o cálculo da amostra, segundo Barbetta [5], foi considerado um erro amostral de 10% e o universo total de 100.000 pessoas [6], entre alunos e funcionários. Assim, foi obtido o valor mínimo de 100 para a amostra, ou seja, para o número de questionários retornados.

Para analisar a contribuição do RioCard Mais com o sistema de transporte público da cidade, mais precisamente com a integração de transporte, foi feio um levantamento da quantidade de pessoas, dentro do universo da área de estudo, verificando os que utilizam o serviço do bilhete eletrônico e a quantidade de pessoas que fazem a integração entre os diferentes modais.

As perguntas que fizeram parte do questionário, foram formuladas de acordo com os dados necessários para pesquisa e foram divididas em seções que dizem respeito ao: perfil sociodemográfico; uso de transporte público; modais de transporte público e sistema de pagamento.

O esquema sequencial de organização das perguntas do questionário, é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema de organização do questionário



Fonte: Autoras.

Para análise dos resultados, a amostra foi separada em dois grupos de respondentes: de moradores e não moradores da cidade do Rio de Janeiro, com perguntas direcionadas aos dois perfis. Por exemplo, na seção de modais de transporte público as combinações de integração eram diferentes para quem mora e quem não mora na cidade do Rio (incluindo ônibus intermunicipal).

3. Referencial teórico.

3.1. Mobilidade e transporte público na cidade do Rio de Janeiro

Problemas relacionados à mobilidade de pessoas nos centros urbanos afetam de forma direta a qualidade de vida e o desempenho econômico das atividades urbanas [7]. Segundo Costa [8], a falta de eficiência na mobilidade gera consequências negativas tanto na qualidade de vida da população quanto na economia. O aumento do tempo de deslocamento no percurso "casa–trabalho" é um fator gerador de prejuízo para empresas pois reduz o desempenho tanto por atraso como por cansaço.

O transporte público coletivo é um serviço de grande relevância nas cidades, por democratizar a mobilidade e reduzir problemas oriundos do processo de urbanização, tais como: congestionamentos, níveis de poluição, acidentes de trânsito e emissão de poluentes, além de reduzir o uso indiscriminado de energia automotiva, necessidade de construção de vias e de estacionamentos [9,10]. Ainda segundo Gomide [9], a parcela mais pobre da população é a mais prejudicada com a oferta inadequada de transporte coletivo, o que também acaba por estimular o uso do transporte individual e ocasionar o aumento dos níveis de poluição e de congestionamento, causando necessidade de captação de mais recursos públicos para ampliação e construção de vias.

A crise da mobilidade na cidade do Rio de Janeiro está relacionada, entre outros, ao crescimento do uso de transportes motorizados e às deficiências do transporte coletivo devido à falta de investimento, gerando as consequências já observadas além do aumento na desigualdade nas condições de mobilidade entre os grupos sociais [11].

A consultoria *Expert Market* [12] elaborou um *ranking* internacional em 2018, entre 74 cidades, exceto China, Índia e Rússia, onde o Rio de Janeiro foi apontado como a cidade com a pior mobilidade. Na pesquisa foram considerados os seguintes fatores: a média de tempo da jornada diária; a média de tempo de espera pelo transporte; a média de distância percorrida; a porcentagem de transbordos necessários em uma única jornada; o custo mensal do transporte público comparado à renda mensal; e o tempo de horas gastas em congestionamentos. Destacam-se aqui alguns dos resultados da pesquisa para a cidade do Rio de Janeiro: o tempo de espera pelo transporte, em média de 19 minutos; o tempo de viagem no percurso para alcançar o destino, em média de 90 minutos; o gasto mensal com passagens, de aproximadamente 9,4% do salário.

A cidade do Rio de Janeiro e sua região metropolitana contam com certa variedade de transporte público coletivo: ônibus (maior parte), metrô, trem, *bus rapid system* (BRT), mais recentemente o veículo leve sobre trilhos (VLT), barcas, bicicletas compartilhadas. Diariamente, parte da população necessita utilizar diferentes modais em um mesmo trajeto, tornando a integração modal de suma importância para a melhoria da mobilidade.

Até o ano de 2024, existiam 1043 linhas de ônibus que circulavam na cidade, segundo o DATARIO [13]. São mais de 150 operadoras de ônibus atuando na cidade do Rio de Janeiro e na região metropolitana. No metrô são três linhas operadas pela MetroRio que contemplam a zona norte, sul e central. Além disso, há também integração com outros modais de transporte, especialmente com o trem, operado pela SuperVia. O trem se divide em oito ramais que abrangem, a partir da área central da cidade, a região metropolitana e municípios vizinhos. O BRT é operado pela BRT Rio e possui 27 rotas que vão da zona norte à zona oeste. O VLT, que é o modal mais recente implementado na cidade, é composto por três linhas, todas operadas pela VLT Carioca, e atende até o momento as zonas centrais da cidade, ligando a rodoviária ao aeroporto Santos Dumont. Por fim, tem-se as barcas, com 11 rotas e quatro operadoras, e outros meios como o bonde, o teleférico e o plano inclinado.

3.2. Integração modal como incentivo ao uso do transporte público

A integração modal auxilia a criação de um sistema de transporte público contínuo e interconectado, podendo incentivar mais pessoas na escolha do transporte coletivo em detrimento de carros particulares, levando à redução de congestionamentos e a benefícios ambientais. Destaca-se também, melhoria na acessibilidade da população, incluindo aqueles que dependem do transporte público como principal meio de viagem. A integração eficiente pode contribuir com o desenvolvimento econômico, facilitar a circulação de pessoas em suas atividades de trabalho, educação e lazer [14].

Vale ressaltar que, os esforços para se atingir eficiência na integração modal no transporte público, podem levar à economia de custos para as autoridades de transporte, bem como para os passageiros, no que diz respeito a simplificar serviços, reduzir a duplicação e otimizar as rotas com base na demanda [14].

Assim, a integração do transporte público desempenha papel decisivo na obtenção de sistemas de transporte mais sustentáveis, eficientes e que beneficiem a comunidade como um todo. Neste contexto, a tarifa do serviço, incluindo valor, estrutura e métodos de cobrança, é o fator que desempenha papel decisivo no processo de integração.

Uma solução inovadora que vem ganhando importância é a bilhetagem eletrônica, que otimiza a arrecadação de tarifas e melhora a experiência do usuário. A tecnologia digital aumenta a segurança das transações, melhora a eficiência geral no setor de transporte público, oferecendo aos passageiros maior flexibilidade e conveniência no uso dos serviços de transporte público, além de reduzir significativamente os tempos de espera e o congestionamento do tráfego. A integração tarifária através do uso do *smartcard*, em alguns casos pode ser beneficiada com o sistema de pagamento unificado.

3.3. Sistema de bilhetagem eletrônica (SBE) na cidade do Rio de Janeiro

Dá-se o nome de Sistema de Bilhetagem Eletrônica (SBE) à gama de tecnologias empregadas para processar os dados de viagens com a finalidade de arrecadação tarifária [15]. Este sistema gera um volume de dados que possibilita estudos e análises variadas sobre a sua dinâmica de utilização [15]. Ainda, os autores ressaltam a importância dos dados em tempo real para o planejamento de esquemas operacionais por agentes do poder público que melhor se adeque a realidade dos usuários do sistema de transporte público [16].

Um exemplo da utilização desse sistema foi verificado na cidade de Haifa, Israel, onde foi observado que os usuários de transporte público tinham necessidade de fazer uma grande quantidade de integrações e pagavam o valor unitário a cada embarque. Dessa forma, foi utilizado um modelo de divisões em zonas, onde era possível dentro da respectiva área, fazer uso de bilhetes de pagamento único. Isso alterou o comportamento do usuário ao utilizar o transporte público, como por exemplo, observou-se que alguns usuários optavam por trocar alguns trechos por caminhadas, ou às vezes, desistir da viagem intencionada [17].

No Rio de Janeiro, a utilização do SBE permite que o usuário utilize diversas linhas intermunicipais e a integração com outros modais de transporte. De acordo com a Revista Ônibus, o SBE foi implementado na cidade nos anos 2000, pela lei 3.167. Até então, eram utilizados os tickets de papel, que eram mais vulneráveis a fraudes. Somente em 2004 o SBE passou a ser usado em todo o estado. No mesmo ano foi criado o RioCard, empresa com a responsabilidade de emitir os cartões e oferecer soluções de pagamento eletrônico para o transporte público, entretanto os cartões entraram em uso apenas em 2005 [18].

Em 2007 a Federação das Empresas de Transporte de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (Fetranspor) lançou o cartão RioCard Expresso destinado aos passageiros

de ônibus que não possuíam o RioCard, como trabalhadores autônomos, estudantes, entre outros. O novo cartão possuía regras mais flexíveis e, consequentemente, mais atrativas que o RioCard, pois além de não limitar o tempo mínimo de utilização entre uma passagem e outra também não estabelecia um número máximo de deslocamento por dia [19,20]. Era aceito em todas as empresas de ônibus do estado do Rio de Janeiro, bem como nas barcas e, como já acontecia com o cartão RioCard, o fato de o usuário não precisar pagar em espécie proporciona aumento na segurança nas viagens agilizando o embarque.

Em 2009 foi criado o Bilhete Único Intermunicipal, atendendo às cidades do entorno do Rio de Janeiro. O Bilhete Único intermunicipal permite que os usuários viagem entre municípios com uma tarifa de menor custo, incentivando a utilização de modais integrados, apresentando um benefício para a população e para as empresas que concedem o vale-transporte aos funcionários. O Bilhete Único Carioca (de abrangência municipal na cidade do Rio de Janeiro) também oferece integração com desconto, dentro de um determinado tempo limite.

Em 2019, foi criado o RioCard Mais, que está em funcionamento na cidade. Consiste em um cartão que funciona como Bilhete Único com validade em diferentes modais de transportes públicos, recarregável em lojas, pontos de autoatendimento e até mesmo online. Foi simplificado e se apresenta em três versões: empresarial, expresso e vale-transporte [18].

4. Área de estudo

Como área de estudo foi escolhido o campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), localizado na Ilha do Fundão, por concentrar a maior parte dos alunos da instituição e por possui grande fluxo de pessoas, constituindo-se, assim em um polo gerador de viagens (PGV). A UFRJ possui número expressivo de estudantes, equivalente a 65 mil. Dentre unidades administrativas e acadêmicas, são 32 prédios espalhados por toda a ilha. O acesso por transporte público se dá por ônibus e BRT (indicado na Figura 1 do Apêndice A).

De acordo com o próprio site [21], a UFRJ tem, além dos mais de 60.000 alunos, entre graduandos e pós-graduandos, 13.000 funcionários, entre professores e técnico-administrativos, em um total de aproximadamente 73.000 pessoas.

5. Resultados e discussão

O formulário on-line retornou 131 respostas válidas, entre as quais, em torno de 20% são atribuídas à segunda etapa em que o formulário ficou disponível. Inicialmente apresenta-se os resultados qualitativos, em relação ao perfil sociodemográfico (gênero, idade, renda), relação com o campus universitário e local de residência.

Estes resultados da pesquisa referentes ao perfil dos respondentes podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Categorização do perfil dos respondentes

Variáveis	Categorias – faixas	Frequência (%)
Idade	Até 18 anos	9,0
	Entre 19 e 29 anos	**60,7**
	Entre 30 e 39 anos	12,4
	Entre 40 e 49 anos	6,9
	Entre 50 e 59 anos	8,3
	Mais de 60 anos	2,7
Gênero	**Masculino**	**53,5%**
	Feminino	45,1%
	Não-binários	0,7%
	Não responderam	0,7%
Renda Mensal	Até 1 salário mínimo	11,1
	Mais de 1 até 6 salários mínimos	**52,8**
	Mais de 6 até 9 salários mínimos	11,1
	Mais de 9 salários mínimos	25,0

Fonte: Autoras

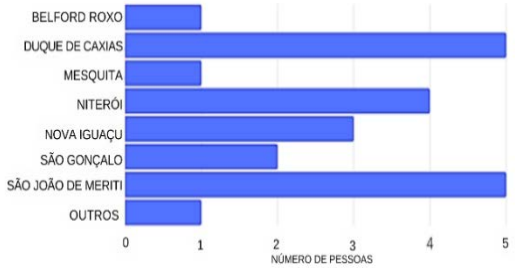
Também foi observado que a maioria dos respondentes são residentes da cidade do Rio de Janeiro, com 83,2% dos respondentes residindo na capital e apenas 16,8% fora dela (Tabela 1 do Apêndice A).

Foi verificado que, a faixa etária predominante está entre 19 e 29 anos, o respondente é aluno da UFRJ e reside na cidade do Rio de Janeiro. Sobre o gênero, 45,1% são mulheres, 53,5% são homens, 0,7% são não-binários e 0,7% preferiram não responder. Em relação à renda mensal, o maior percentual dos respondentes ficou concentrado nas faixas de 1 a 3 e de 3 a 6, salários-mínimos, totalizando 52,8%. Enquanto, 25% disseram estar na faixa acima de 9 salários.

Para a seção do questionário que trata sobre o uso do transporte público, as respostas eram interdependentes. Foi necessário desconsiderar dos cálculos 15 respostas inconsistentes. Desse modo, 116 respostas foram analisadas nesta e nas seções seguintes.

Entre os respondentes que não moram no município do Rio de Janeiro, 20,8% residem em Duque de Caxias e 20,8 em São João de Meriti, configurando a maioria da amostra (Figura 2).

Figura 2 – Cidade em que reside



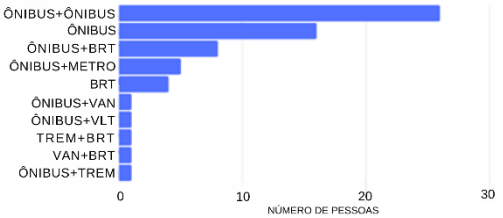
Fonte: Autoras

Sobre o número de modais utilizados no percurso, 44,2 % utilizam dois modais, representando a maioria da amostra, sendo "ônibus + ônibus" a combinação mais utilizada (Figuras 3 e 4, respectivamente).

Figura 3 – Número de modais TP para chegar à Ilha do Fundão

Fonte: Autoras

Figura 4 – Combinação de TP mais utilizada



Fonte: Autoras

Igualmente, sobre o sistema tarifário, 43,1% utilizam a integração modal contemplada por benefícios (Figura 5).

Figura 5 – Contemplação por benefícios tarifários na integração modal

Fonte: Autoras

Na Tabela 1 do Apêndice A, são apresentados os resultados que envolvem o uso do transporte público e da bilhetagem eletrônica (RioCard Mais, no caso) para integração modal. Em relação à frequência com que os respondentes se deslocam por transporte público, a partir de sua residência (fora da cidade do Rio de Janeiro) até a UFRJ (Campus Fundão), foi observado que é de majoritariamente 5 (cinco) ou mais vezes por semana, para os não residentes. Para os residentes na cidade do RJ, a diferença é pequena entre os que utilizam entre 2 e 4 vezes e 5 vezes na semana. Porém, neste último, o percentual de respondentes é bem inferior ao dos não residentes.

Sobre a quantidade e o tipo de modal de transporte utilizado pelos respondentes não residentes na cidade do Rio de Janeiro, 50% utilizam dois modais de transporte. 36,4% utilizam um modal e 13,6% utilizam três ou mais. A combinação mais utilizada é ônibus

intermunicipal com ônibus municipal, totalizando 45,5%.

Foi perguntado aos usuários do transporte público, que utilizam o RioCard Mais, o motivo da utilização e para os que não o utilizam qual seria a razão. Observa-se que, ele é utilizado pela maioria dos respondentes (87,0%) devido a rapidez na integração, e conveniência, enquanto a maioria dos que não o utilizam responderam a opção “outros”, onde pode-se incluir o direito à gratuidade, bem como ao uso do bilhete universitário.

Os resultados da pesquisa exploratória conduzida, indicaram que a adoção da bilhetagem eletrônica pelo uso do RioCard Mais como principal meio de pagamento no transporte público foi amplamente aceita pela comunidade acadêmica. Conforme observado, a maioria significativa dos respondentes utilizam o referido cartão em suas rotinas diárias para integração modal de transporte em seus deslocamentos no trajeto local de residência - campus universitário. Tal fato reflete a importância da bilhetagem eletrônica como facilitador na integração do transporte, em um único trajeto, permitindo combinações eficientes seja em modais de mesmo tipo (como no caso da pesquisa) ou não. Esta conveniência que é proporcionada por ser possível usar um mesmo cartão em variados meios de transporte é um dos aspectos mais valorizados pelos usuários, conforme pode ser observado nos resultados obtidos, que mostram este como um dos motivos mais escolhidos pelos respondentes por utilizar o cartão de integração, RioCard Mais.

Entretanto, a pesquisa apontou que, embora o RioCard Mais seja amplamente utilizado, ainda há uma parcela da comunidade acadêmica que não o utiliza. Seja por dificuldades no uso, pelo desconhecimento de vantagens ou do serviço propriamente dito, ou ainda por outros motivos não revelados na pesquisa, mas que podem passar por razões como: falta de pontos de recarga acessíveis dentro do campus, problemas técnicos nos sistemas de recarga on-line, estudantes que dependem do auxílio estudantil e os que enfrentam dificuldades financeiras para manter o cartão carregado.

Assim, nota-se que, apesar de bem aceita, a integração modal proporcionada pelo RioCard Mais ainda não atinge todo o seu potencial em termos de custo-benefício. Mesmo com o uso do cartão o custo total das viagens, principalmente para os residentes em áreas distantes do campus, é elevado. O que para alguns pode desmotivar o uso do transporte público, incentivando o uso do transporte individual, o que contraria as políticas de mobilidade sustentável.

Para que a integração modal promovida pelo RioCard Mais, ou outra ferramenta de bilhetagem eletrônica, possa atingir maiores potenciais de eficiência no seu uso, é necessário que haja comunicação para o usuário sobre suas funcionalidades e os benefícios oferecidos.

6. Considerações Finais

O estudo realizado avaliou o uso da bilhetagem eletrônica, com foco no RioCard Mais, para a integração modal de transporte no campus da UFRJ, a partir de uma pesquisa exploratória conduzida com funcionários e estudantes. Os resultados obtidos indicaram que o RioCard Mais é bem aceito na comunidade acadêmica, com relevância na facilitação dos deslocamentos diários, tendo destaque como ferramenta de integração modal de transporte.

A ampla aceitação entre os respondentes reflete a conveniência, bem como a rapidez, proporcionada pelo sistema de bilhetagem eletrônica, no caso do RioCard Mais, especialmente no que se refere à possibilidade de utilizar um único cartão para acessar mais de um meio de transporte. Entretanto, como desafios a serem superados para se alcançar maior utilização, maximizando os benefícios da integração modal, se faz necessário melhorar a comunicação sobre seus benefícios e funcionalidades, visto que foi demostrado desconhecimento sobre estes aspectos.

Portanto, conclui-se que, embora o RioCard Mais seja uma ferramenta de relevância para a integração modal no campus da UFRJ, deve haver aprimoramentos para aumentar sua eficácia e acessibilidade. Autoridades que atuem no planejamento de transporte, em colaboração com a administração da UFRJ devem trabalhar em conjunto, bem como no incentivo para a integração tarifária, de modo a promover uma mobilidade mais inclusiva e sustentável na comunidade acadêmica.

7. Referências

[1] UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision.* United Nations New York, NY, USA, 2019. Disponível em: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf. Acesso em: 15 jul. 2022.

[2] RIO DE JANEIRO. *Decreto Rio Nº 45781*. Institui o Plano de Mobilidade Urbana Sustentável do Município do Rio de Janeiro - PMUS-Rio. Rio de Janeiro: Prefeitura, 2019. Disponível em: https://smaonline.rio.rj.gov.br/legis_consulta/58128Dec%2045781_2019.pdf. Acesso em: 28 mai. 2022.

[3] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 37122 – Cidades e comunidades sustentáveis — Indicadores para cidades inteligentes.* ABNT. Rio de Janeiro. 2020.

[4] BRASIL. *Carta brasileira para cidades inteligentes.* 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projeto-andus/cartabrasileira-para-cidades-inteligentes. Acesso em: 15 jul. 2022.

[5] BARBETTA, P. A. *Estatística Aplicada às Ciências Sociais.* Cap 3. Ed. UFSC, 5ª Edição, 2ª reimpressão, Florianópolis, 2004.

[6] UFRJ. *Fatos e números. Acesso à informação.* Disponível em: https://ufrj.br/acesso-a-informacao/institucional/fatos-e-numeros/. Acesso em: 7 de ago 2024.

[7] IPEA-Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-Infraestrutura Social e Urbana no Brasil: Subsídios para uma Agenda de Pesquisa e Formulação de Políticas Públicas. Ipea, Brasília, DF, 2011.

[8] COSTA, J. V. R. S. *Os desafios da mobilidade urbana da cidade do Rio de Janeiro.* Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Urbana), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

[9] GOMIDE, A. A. *Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais.* In: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Políticas sociais: acompanhamento e análise. IPEA, Brasília, DF. pp. 242-250, 2006.

[10] RODRIGUES, M. A.; SORRATINI, J. A. *A qualidade no transporte coletivo urbano.* In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 22, 2008, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Anpet, p. 1081-1092, 2008.

[11] RODRIGUES, J. M. *Transformações Urbanas e Crise na Mobilidade Urbana no Brasil: Hipóteses sobre o caso do Rio de Janeiro no Contexto dos Megaeventos.* In: XIII Seminário da Red Iberoamericana de Investigadores, Salvador, BA, 2014.

[12] EXPERT MARKET. *Best and worst cities for comuting.* Disponível em: https://www.expertmarket.com/fleet-management/best-and-worst-cities-for-commuting.

[13] DATARIO. *Itinerários de Serviços de Ônibus Regulares.* Rio de Janeiro. 2024. Disponível em: https://www.data.rio/datasets/PCRJ::itiner%C3%A1rios-de-servi%C3%A7os-de-%C3%B4nibus-regulares/explore?showTable=true

[14] POLIAK, Milos et al. *Public Transport Integration.* Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, [S. l.], v. 19, p. 127-132, 30 abr. 2017. DOI 10.26552/com.C.2017.2.127-132. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322339979_Public_Transport_Integration. Acesso em: 15 jul. 2024.

[15] ZHAO, J. *Estimating a Rail Passenger Trip Origin-Destination Matrix Using Automatic Data Collection Systems.* Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v. 22, p. 376-387, 2007.

[16] OLIVEIRA et al. *Detecção de padrões de mobilidade urbana em dia atípico a partir de sistema de bilhetagem eletrônica: análise das viagens na RMRJ durante o carnaval.* Journal of Transport Literature, 10(4), 2024, Manaus. oct. 2016.

[17] SHARABY, Nir. SHIFTAN, Yoram. *The impact of fare integration on travel behavior and transit ridership.* Transport Policy. Volume 21, Pages 63-70. Haftan, Israel. mai. 2012

[18] REVISTA ÔNIBUS. *Bilhetagem eletrônica: um facilitador da vida moderna.* N°101, 2018. Disponível em: https://www.revistaonibus.com.br/edicoes-virtuais/revista-onibus-no-101/. Acesso em: 15 jul. 2022.

[19] REVISTA ÔNIBUS. *RioCard Expresso: Uma revolução no uso do transporte público.* N° 4, 2007. Disponível em: https://www.revistaonibus.com.br/edicoes-virtuais/revista-onibus-no-44/. Acesso em: 15 jul. 2022.

[20] FETRANSPOR. *Do papel ao cartão.* Revista Ônibus. Edição Especial RioCard. Edição 106. Ano XIX. 2019. Disponível em: https://www.revistaonibus.com.br/edicoes-virtuais/revista-onibus-no-106/. Acesso em: 15 jul. 2022.

[21] UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Sobre a UFRJ. 2024*. Disponível em: https://ufrj.br/a-ufrj/sobre-a-ufrj/. Acesso em: 15 jul. 2022.

8. Anexos e Apêndices

APÊNDICE A

Figura 1 – Mapa do campus da UFRJ (Ilha do Fundão) - indicação de pontos de transporte público

Fonte: adaptado de UFRJ [21]

Tabela 1- Categorização de uso do RioCard Mais

Transporte e Integração	Parâmetros	Frequência (%)	
Residem na Cidade do Rio de Janeiro	Sim	**83,2**	
	Não	16,8	
Utilizam TP (não residentes cidade do RJ	5 vezes na semana ou mais	**52,2**	
	Entre 2 e 4 vezes na semana	37,5	
	Nunca	10,3	
		Residentes	Não residentes
Utilizam TP (residentes e não residentes da cidade do RJ	5 vezes na semana ou mais	**34,7**	**52,2**
	Entre 2 e quatro vezes na semana	**36,4**	37,5
	Uma vez na semana	5,8	-
	Mensalmente	1,7	-
	Nunca	21,4	10,3
Usam o bilhete eletrônico RioCard Mais	Sim	**87,0**	
	Não	13,0	
Motivos da utilização do RioCard Mais	Conveniência	25,7	
	Rapidez na integração	25,2	
	Benefício de tarifa	24,7	
	Evitar fila de embarque	14,7	
	Segurança	9,7	
Motivos da não utilização do RioCard Mais	Não conheço o serviço	15.38	
	Dificuldade em Utilizar	23.07	
	Não vejo vantagem	23.07	
	Outros	38.48	

Fonte: Autoras

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Aplicação do BIM em Automação Residencial

Application of BIM in Residence Automation

BARBOSA, Murilo Divino Feliciano[1]; MACIEL, Ana Carolina Fernandes[2]; SOUZA JR, Dogmar Antonio de[2]
murilo.barbosa@outlook.com[1]; anamaciel@ufu.br[2]; souza.dogmar@ufu.br

[1]Graduando, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.
[2]D.Sc.Professor(a), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Modelagem da Informação da Construção (BIM)
Automação residencial
Internet das coisas (IoT)

Key word:
Building Information Modeling (BIM)
Home automation
Internet of things (IoT)

Resumo:

Nesse trabalho aplica-se o BIM (Modelagem da Informação da Construção) para a concepção de um projeto de automação para uma residência unifamiliar de dois pavimentos. O trabalho foi desenvolvido a partir da modelagem e compatibilização das disciplinas de arquitetura, estrutura, hidrossanitária, elétrica. Em seguida, elaborou-se a proposta de automação residencial e o orçamento para análise do seu impacto no custo da edificação. As modelagens foram desenvolvidas no software Revit paralelamente a pesquisa das possibilidades existentes para automação residencial com utilização da internet das coisas (IOT – Internet of Things), por meio da tecnologia do Arduino. O software escolhido mostrou-se uma ferramenta de fácil utilização e com uma boa biblioteca de famílias. O custo estimado da automação para esse estudo ficou em 1,61% do valor da construção, demonstrando que automação pode ser um item de baixo custo na edificação a depender da tecnologia utilizada.

Abstract

This work proposes the application of Building Information Modeling (BIM) in the design of an automation project for a two-story single-family residence. The project was developed based on modeling and compatibility across disciplines including architecture, structure, hydro-sanitary systems, and electrical systems. Additionally, it outlines the residential automation proposal, including budgeting, to analyze its impact on the building's cost. The software used demonstrated ease of use, along with a comprehensive family library to aid in the process. The estimated cost of automation for this study was 1.61% of the construction value, showing that automation can be a low-cost component in buildings, contingent upon the technology utilized.

1. Referencial Teórico

Nas últimas décadas, o setor da construção civil tem passado por grande evolução tecnológica, possibilitando ampliar a relação entre habitação e usuário. Em um mundo cada vez mais conectado, consumidores demandam moradias melhores e mais eficientes, além de tecnológicas. A partir dessa demanda o mercado iniciou o desenvolvimento de empreendimentos de residências automatizadas, inteligentes e

conectadas a internet. Essas inovações além de oferecer maior conforto aos usuários, abrem oportunidades para benefícios que vão desde controlar a temperatura de forma remota até a maior eficiência energética, apoiando a tendência de construções mais sustentáveis ambientalmente.

Esses avanços tecnológicos ampliam a atuação da automação residencial e modificam a forma de conceber edificações. Um exemplo de impacto na concepção e produção habitacional é a utilização da metodologia BIM (*Building Information Modeling*), que alterou a forma como construção é projetada, planejada, executada e monitorada.

A metodologia BIM parte de um modelo que integra ferramenta de modelagem tridimensional com todos os sistemas presentes na construção, aliando informações de forma a contribuir no gerenciamento do projeto, e para todas as etapas produtivas da execução desse, aumentando a eficiência e reduzindo custos. Pode-se afirmar que a metodologia BIM é uma evolução dos sistemas de desenho CAD, e visam não apenas a representação, mas a gestão de dados integrados, trazendo maior riqueza de detalhes e possibilidades ao engenheiro, arquiteto e demais profissionais da área [1].

A metodologia convencional de projeto, ainda adotada por grande parte dos projetistas, é desenvolvida em sistemas CAD, se baseando na geometria disposta em coordenadas cartesianas, ou seja, em duas dimensões, para representar elementos como paredes, portas, lajes, sistema hidráulicos, elétricos, etc. implicando em trabalho exaustivo e manual, além de inúmeras incompatibilidades de projetos que são desenvolvidos em tempos diferentes, por profissionais independentes, muitas vezes sem comunicação ou coordenação adequada de projetos. A metodologia BIM adota um modelo tridimensional aliado a parametrização dos elementos permitindo alterações automáticas na representação bidimensional do modelo (plantas, vistas, cortes etc.), além de atrelar informações aos elementos como materiais, dimensões, acabamentos, quantitativos e qualquer outra que for necessária [1].

Para Campestrini *et al* [2], é uma grande vantagem a construção desses modelos virtuais, uma vez que oferecem a possibilidade de reconstrução e remodelagem promovendo maior liberdade na condição de simulação para a equipe de engenharia e arquitetura, desde melhor visualização até análises de melhores soluções como, por exemplo, a troca do concreto armado por aço.

As vantagens da aplicação do BIM são amplamente conhecidas na literatura e representam um diferencial em termos de redução de custos e eficiência energética nas construções. Contribuem para a redução de erros construtivos decorrentes da ausência de informações ou incompatibilidades entre projetos, redução de desperdícios e retrabalhos, gerando um ciclo virtuoso que beneficia todo o processo construtivo.

A indústria da construção civil está acostumada com diversos projetos e uma grande diversidade de profissionais com diferentes graus de instrução, e para o sucesso do planejamento é necessário que esses profissionais interajam e encontrem soluções. Com base nessa necessidade as ferramentas BIM proporcionam ambiente colaborativo em diferentes graus.

Para a viabilidade econômica dos empreendimentos, é vital a presença de uma coordenação de projetos envolvidos do início até o final da cadeia de valor rendendo informações para a tomada de decisão, planejamento e monitoramento e controle [2]. Com a adoção do Bim essa revisão e tomada de informações se torna um processo mais fácil e ágil, além dos aplicativos possibilitarem a colaboração de equipes multidisciplinares de forma simultânea, sobre um modelo virtual que pode ser compartilhado [1].

O modelo BIM pode ser classificado em relação ao grau de informações atribuídos ao modelo paramétrico, aliado a programação de linguagens como C#, python, entre outras

utilizadas para gestão de banco de dados e gerar resultados que contribuirão para a tomada de decisão como pode ser visualizado na tabela 1 [2].

Tabela 1- Dimensões do BIM e suas características

	Modelo
Informações	Modelo virtual contendo informações espaciais e qualidade do projeto, ou seja, seus sistemas estruturais, hidráulico, elétrico e arquitetônico.
Exemplo das informações	Pilares, vigas, lajes, portas, janelas, tubulações, caixas de passagem, tomadas, iluminação, entre outros.
Possibilidades na tomada de decisão	Possível realizar a compatibilização espacial do projeto, especificação do material, acabamentos, quantitativos, entre outros.
	Modelo + Tempo
Informações	Recebe informações de prazos.
Exemplos das informações	Produtividade das equipes envolvidas, número de equipes, sequência construtiva.
Possibilidades na tomada de decisão	Possível acompanhar cronograma da obra, se há risco de atrasos, lead time, ritmo da produção.
	Modelo + Custo
Informações	Receber informações sobre custo dos serviços que estão sendo realizados.
Exemplo das informações	Custo de materiais, mão de obra, equipamentos, despesas indiretas, bônus etc.
Possibilidades na tomada de decisão	acompanhamento do custo da obra, avaliação orçamentaria em tempo real, curva ABC, entre outros.
	Modelo + Análises Sustentabilidade
Informações	sobre o uso da edificação, gestão do ciclo de manutenção e sua conservação além do seu impacto ambiental.
Exemplo das informações	validade dos materiais, programação das manutenções necessárias, consumo de água, energia elétrica, entre outros.
Possibilidades na tomada de decisão	Extrais informações de operação e manutenção da edificação além de ajudar a buscar maior eficiência energética.

Fonte: adaptado de [2] e [3].

Quanto maior o nível de informações que o modelo possuir, maior o grau de assertividade na tomada de decisão pelos gestores do projeto, evitando perda de produtividade no canteiro de obras, desperdícios de materiais, e proporcionando melhor gestão do cronograma e qualidade do produto a ser entregue [2].

2. Automação Residencial ou Domótica

A automação residencial emergiu como uma tecnologia revolucionária para se transformar a maneira como se vive e se interage nas unidades habitacionais. A automação das edificações abrange a integração de dispositivos e sistemas que automatizam tarefas e controles dentro da edificação, visando proporcionar maior conforto, segurança e eficiência.

De acordo [4], a automação é caracterizada pela integração entre os sistemas, aliada à capacidade de executar funções e comandos programáveis, e isso resulta em várias aplicações práticas na residência como:

- Instalações elétricas: inclui a integração entre sistema de iluminação, controle de persianas e cortinas, além da gestão energética entre outros;
- Sistemas de segurança: aprimora os alarmes de intrusão, alarmes técnicos como sistema de detecção de fumaças, vazamentos de gás e inundações, bem como circuito fechado de TV, controle de acesso, entre outros;
- Sistemas Multimidias: a automação consegue transformar a experiência do entretenimento com sistema de áudio e vídeo projetados como cinema, integrado com sistema de iluminação sendo possível criar ambientes mais envolventes;
- Sistema de comunicação: telefonia e interfonia, Tv por assinatura, wi-fi, permite comunicação eficiente tanto interna como externamente.
- Utilidades: pode ser utilizada para controle de irrigação do jardim, aspiração central, controle da climatização de

forma personalizada por ambiente e preferências do usuário, além do gerenciamento do aquecimento de água, casa de bombas, entre outros.

Destaca-se a relevância do projeto de automação residencial que deve levar em conta o estilo de vida e as preferências dos futuros moradores, e com isso projetar a melhor infraestrutura para a implantação das escolhas e desejos dos contratantes, ou seja, a escolha do tipo de cabeamento e a definição dos equipamentos, ressaltando que para esse tipo de automação é obrigatório a utilização de interfaces fáceis e amigáveis pois os clientes/usuários são avessos a programações complexas [5].

Por outro lado, [6] projeta o futuro em que é natural a evolução da automação para o conceito de domótica, onde os sistemas percebem a presença e ações dos habitantes por meio de sensores, e aprende com o comportamento dos moradores ultrapassando as configurações pré-concebidas. A domótica surge do conceito de inteligência artificial, ou seja, o conceito de aprendizado de máquina, no qual, utilizando os dados coletados, a residência torna-se capaz de analisar e adaptar as regras da automação do ambiente, se adequando ao comportamento e gosto dos moradores.

As publicações recentes demostram que a automação é uma realidade palpável e presente em inúmeros empreendimentos, apesar de estar associada a residências de alto padrão. Segundo [5], os custos da automação variam de 1 a 7% do custo total da construção, ou seja, com a popularização das tecnologias e ampliação dos fornecedores é natural que essa tendência de automatização residencial chegue a todas as faixas de renda.

3. Internet das Coisas (IoT – Internet of Things)

A internet das coisas (IoT - Internet of Things) representa uma nova concepção tecnológica que integra rede de objetos físicos, dispositivos, veículos, edificações entre outros como equipamentos eletrônicos, sensores, softwares com conectividade a rede mundial de computadores. Esses eletrônicos permitem coletar, armazenar, processar, enviar e receber dados, e são capazes de atuar sobre o meio físico por meio de atuadores (mecanismos que automatização o funcionamento dos equipamentos), ampliando suas funcionalidades e capacidades, fornecendo serviços úteis, de forma automática, sem interferência humana direta.

Em seu trabalho, [7] classifica que a internet das coisas é uma nova visão para aplicação da internet, que vai além dos computadores e passa a englobar todos os objetos (“coisas”) ligados ao dia a dia dos seres humanos. Ou seja, uma nova fronteira da internet que está sendo explorada e que pode ser acessada devido ao avanço contínuo da própria tecnologia.

Com a compreensão de que a IoT é uma extensão da internet atual para objetos do dia a dia, é possível vislumbrar que esses equipamentos podem ser controlados remotamente e acessados por provedores de serviço, abrindo novas possibilidades tecnológicas e econômicas [8].

Os autores fazem a ponderação, de que, apesar da abertura de novas possibilidades, também há riscos sociais, de segurança e desafios técnicos. A tecnologia colocará em debate assuntos como segurança, intimidade, padronização de tecnologias, sem a qual o conceito não poderá ser explorado em seu máximo potencial a fim de criar cidades inteligentes (*Smart cities*), Saúde (*Healthcare*) e casas inteligentes (*Smart Home´*s).

Com isso, é possível estabelecer que a internet das coisas tende a assumir a ideia de ubiquidade, ou seja a noção de que estará presente em todos os lugares, momentos, sempre disponível e atuante [9]. Pode-se afirmar que a internet das coisas é uma tendência tecnológica que promete mudar profundamente a sociedade e a economia, fornecendo conexão entre mundo físico e digital, modificando experiências e estando presente o tempo todo na vida das pessoas.

4. Estudo de Caso

Para este estudo de caso, construiu-se um modelo virtual utilizando o *software* Revit da Autodesk, versão 2024, visando a compatibilização dos projetos disponíveis de uma residência unifamiliar de dois pavimentos. Na sequência elaborou-se a proposta de um projeto de automação dessa.

Cada projeto foi desenvolvido em *template* próprio para cada disciplina (arquitetura, estrutural, hidráulica, elétrica), utilizando a tecnologia de vinculação disponível no *software.* O ambiente colaborativo do *software*permitiu a visualização do projeto ou etapa com menor nível de informações e famílias, tornando o arquivo mais “leve”, reduzindo assim a necessidade de processamento.

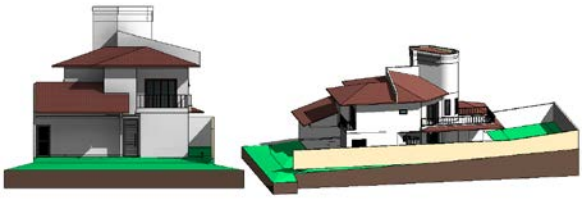
O Autodesk Revit é um *software* BIM projetado para atender às necessidades de arquitetos, engenheiros e profissionais da construção, e disponibiliza as seguintes ferramentas: modelar formas, estruturas e sistemas em 3D com precisão e facilidades paramétricas, simplificando o gerenciamento de projetos com revisões instantâneas em plantas, elevações, tabelas, cortes e folhas. Além da possibilidade de unir equipes multidisciplinares de projeto em uma colaboração eficiente tanto no escritório quanto nos canteiros de obras [10].

Esse *software* foi adotado devido a sua ampla utilização entre as grandes construtoras e projetistas no Brasil, aliado a uma interface amigável, simplificada e fácil para modelagem das informações. Também pela existência de uma grande biblioteca de componentes e famílias disponíveis gratuitamente na internet que contribui para a produtividade. Por se tratar de um estudo acadêmico, a desenvolvedora disponibiliza a licença educacional gratuita, o que facilita a usabilidade.

4.1. Modelo Arquitetônico

A criação do modelo arquitetônico foi desenvolvida em dois momentos distintos. No primeiro foram utilizadas as informações do projeto arquitetônico como base para a criação do modelo. As paredes foram criadas com famílias genéricas, para os pisos, adaptou-se um modelo padrão do *template*, ajustando espessuras e formas para acomodar o rebaixamento entre esses, mantendo a linearidade das lajes. A cobertura foi modelada de forma genérica, com a ferramenta telhado por perímetro e as especificações das telhas do projeto arquitetônico. Para as escadas, utilizou-se o padrão do modelo, alterando somente o *design* do corrimão. Para as esquadrias, buscou-se as famílias que mais se aproximavam das especificações de projeto. Uma imagem do modelo arquitetônico finalizado pode ser vista na figura 1.

Figura 1 – Modelo Arquitetônico.



Fonte: Os autores.

A versão 2024 do *software* trouxe uma inovação no modo de trabalhar com o terreno, introduzindo-o como sólido tridimensional ao invés de um plano. Nesse projeto específico, o processo de modelagem envolveu a criação do terreno original, seguido por cortes e alterações necessárias para a construção do platô e a regularização desse.

No segundo momento, trabalhou-se com o detalhamento minucioso, conforme previsto no memorial descritivo, o que envolveu a especificação dos materiais das paredes e seus acabamentos. Utilizou-se o comando de pintura (PT) para atribuir texturas e acabamentos às paredes, além da criação dos materiais personalizados na biblioteca do projeto, especificando texturas e desenhos de acabamento. Ainda, acrescentou-se ao modelo os equipamentos hidráulicos, bancadas de granito e detalhes de forro de gesso, assim como a especificação e criação dos perfis para os rodapés e ressaltos de acabamentos arquitetônicos previstos. O *software* escolhido

permitiu simplificar o processo de modelagem e possibilitou que o grau de detalhe necessário para atender às exigências do estudo pretendido fosse alcançado.

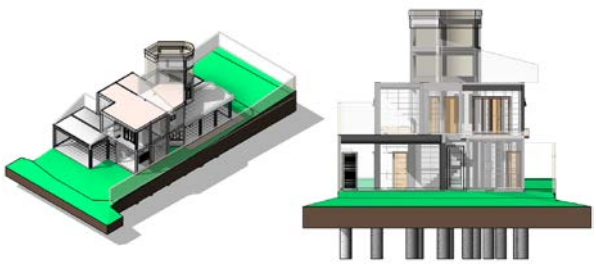
4.2. Modelo Estrutural

Para a construção do modelo estrutural optou-se por utilizar um *template* como ponto de partida. Para esse projeto o foco foi fornecer aproximação volumétrica e posicional dos elementos estruturais, dispensando-se assim a modelagem das armaduras e cálculo estrutural. Uma estratégia importante adotada foi o uso da ferramenta de vinculação. Essa funcionalidade permitiu importar dados de geometria do modelo arquitetônico para o novo modelo, reduzindo necessidade de processamento.

Para as vigas, vigas baldrames e pilares foram utilizados modelos genéricos com dimensões e locações conforme projeto. Para os blocos de coroamento e estacas, foram empregadas famílias genéricas que representam sua volumetria e locação. Para as lajes, foi criado um modelo a partir de uma laje genérica que se assemelhava ao projeto original, o que proporcionou representação satisfatória no nível de detalhe necessário.

Para a compatibilização desse modelo, foram utilizados arquivos fotográficos da época da construção da residência como referência, que foram valiosos para compreender a estrutura existente e garantir que a modelagem refletisse o construído. O modelo estrutural conjuntamente ao modelo arquitetônico finalizado pode ser visto na figura 2.

Figura 2 – Modelo estrutural conjugado ao modelo arquitetônico



Fonte: Os autores.

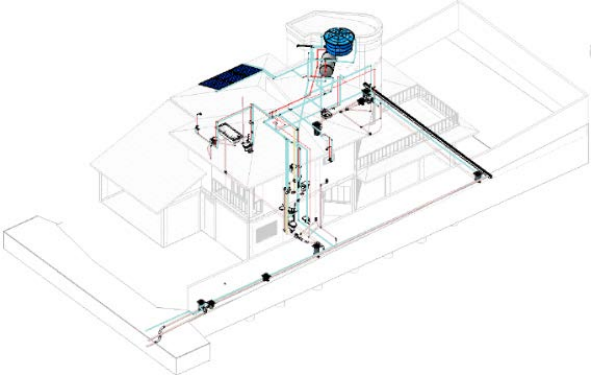
4.3. Modelo Hidrossanitário

Para a modelagem do sistema hidrossanitário, partiu se da vinculação do projeto arquitetônico e estrutural, utilizando-se desses como referência para os parâmetros geométricos e maior compatibilidade entre os sistemas. Utilizou-se a técnica de copiar e monitorar os equipamentos hidráulicos do modelo arquitetônico e trazê-los para o modelo hidráulico. Esses equipamentos foram escolhidos com base na pesquisa de bibliotecas de famílias que melhor se adequassem às especificações do projeto.

Durante o processo de modelagem, construiu-se os sistemas de água fria, água quente, esgoto e drenagem, por meio de tubulações e componentes da marca Tigre, como caixas de gordura, caixa de inspeção e caixa de areia, uma vez que esses já estavam inclusos no *template*.

Essa etapa de modelagem envolveu adaptações significativas, uma vez que inúmeras incompatibilidades e problemas nos projetos foram identificados. Recorreu-se ao arquivo fotográfico da época da construção e conversas com a orientadora para encontrar soluções para esses desafios. Essa colaboração e resolução de problemas foram essenciais para garantir que os sistemas fossem modelados. A modelagem final desses elementos pode ser vista na figura 3.

Figura 3 – Modelo hidrossanitário



Fonte: Os autores.

4.4. Projeto Elétrico, Telefonia e TV

A modelagem das instalações elétricas, de telefonia e televisão envolveu a integração e

compatibilização desses com o projeto arquitetônico, estrutural e hidrossanitário da residência. A abordagem utilizada foi iniciar com a vinculação dos projetos mencionados, utilizando-os como referência para determinar os parâmetros geométricos e garantir a compatibilidade entre os sistemas. O projeto das instalações elétricas original da residência foi uma fonte importante de informações para a modelagem.

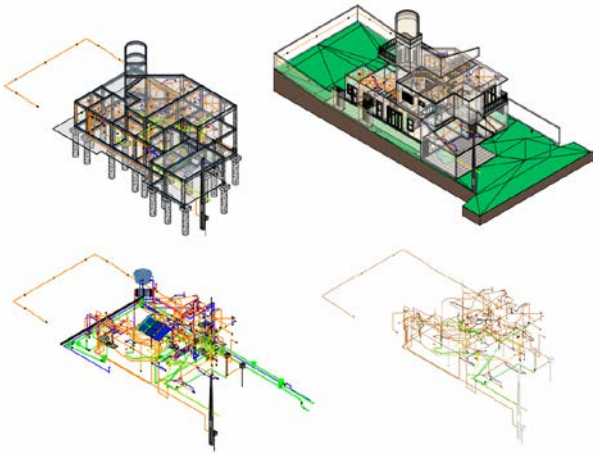
A sequência de trabalho foi iniciada pela localização das tomadas e interruptores e, em seguida, a construção das tubulações. Durante esse processo, foram criados filtros para distinguir as tubulações elétricas das de telefonia e televisão, para facilitar a organização do modelo.

Nessa etapa, assim como nas anteriores adaptações significativas entre projeto e modelo ocorreram, uma vez que o projeto das instalações elétricas foi realizado com base em uma planta arquitetônica que sofreu alterações. Por isso foram utilizadas analogias entre a posição do mobiliário no projeto arquitetônico final e a disposição dos pontos necessários no projeto elétrico em relação a esses. Essa abordagem permitiu a acomodação das modificações arquitetônicas, garantindo que o sistema elétrico fosse eficaz e atendesse às necessidades.

Um dos maiores desafios dessa modelagem foi a falta de *shafts* e a utilização de fiada falsa nas vigas baldrames para evitar problemas de interferências entre alguns componentes. Procurou-se evitar passar tubulações dentro da estrutura, mas em alguns casos foi impossível, demostrando que o diálogo entre projetistas se faz necessário para prever essas seções nos cálculos estruturais.

A modelagem das instalações elétricas, de telefonia e televisão reforça a importância da coordenação e integração de múltiplos sistemas em um projeto de construção, especialmente quando ocorrem mudanças ao longo do processo (figura 4). Essa abordagem assegura que os sistemas sejam eficientes, seguros e em conformidade com as necessidades da edificação.

Figura 4 – Vistas do modelo elétrico com estrutural, com arquitetônico, com hidrossanitário e isolado.



Fonte: Os autores.

4.5. Projeto de automação

O desenvolvimento desse sistema foi iniciado a partir da utilização de soluções simples e acessíveis, com tecnologia do Arduino, onde as soluções são encontradas no site dos dispositivos que apresentam desde a lista dos componentes necessários até códigos de programação e o passo a passo para construção. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica amplamente reconhecida por sua acessibilidade e versatilidade. Criado com o propósito de tornar a eletrônica e a programação acessíveis para entusiastas, estudantes e inventores, o Arduino oferece uma base sólida para a criação de sistemas de automação residencial, robótica e conexão com dispositivos. Uma das principais características que tornam o Arduino tão popular são sua comunidade ativa e recursos abundantes, incluindo variedade de placas, módulos e sensores com inúmeras aplicações, além de linguagem de programação simples com inúmeras bibliotecas que facilitam o desenvolvimento de projetos eletrônicos personalizados.

Com base nessa tecnologia foi escolhido para cada ambiente os seguintes componentes para automação:

- Quartos: controladores de iluminação por voz e controlador de ar-condicionado.
- Cozinha: sensores de presença, sensor de vazamento de gás e abertura de janelas automáticos.

- Salas e circulação: sensor para abertura de porta e controle de iluminação.
- Home Theater: controle de abertura e fechamento de cortinas, controle de iluminação e som.
- Banheiros: controle de iluminação.

Na modelagem, foram empregadas famílias simples que foram criadas pelo autor, e com os componentes essenciais para a automação. Estas famílias incluem informações sobre os componentes necessários, a quantidade requerida e os tubos de ligação para interconectar os sensores e atuadores no sistema. Ainda, um *link* foi incluído nas famílias, com instruções sobre a montagem dos sistemas. Um exemplo de uma família aplicada no projeto de automação pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5 – Exemplo da família criada para a iluminação no banheiro.

Fonte**:** Os autores.

Para a composição das famílias, criou-se elementos genéricos com cores distintas com as dimensões encontradas nos sites de compra, para todos os componentes necessários no projeto. Posteriormente reuniu-se esses componentes em uma única família modular para então ser inserida no projeto das instalações elétricas, onde foram dispostas preferencialmente no forro e regiões das paredes próximas ao forro, ligadas ao sistema que iriam controlar. Foram estabelecidos filtros com cor para diferenciar a automação da parte elétrica do modelo. A planta baixa de elétrica com automação do térreo e do pavimento superior podem ser vistas na figura 6.

Figura 6 – Planta baixa com as tubulações elétricas.

Fonte: Os autores.

Após a conclusão da modelagem, realizou -se uma estimativa da porcentagem dos custos para essa automação em relação ao valor atualizado para a construção da residência. Por meio de uma planilha eletrônica, foi calculado o custo dos componentes e estimado o valor da construção com base no CUB (Custo Unitário Básico) da Câmara Brasileira da Indústria da Construção de Minas Gerais, referente ao período de outubro de 2023, na categoria de casas de alto padrão, nível R1. Na tabela 1 pode-se verificar os resultados obtidos para os custos da construção e para a automação da residência.

Tabela 1- Relação de valor da automação com o da edificação.

Área Construída	262,70	m²
CUB minas Gerais, R1 - Alto Padrão, outubro/2023	R$ 3.261,60	R$/m²
Custo estimado da construção	R$ 856.812,54	R$
Custo da Automação	R$ 13.764,49	R$
Custo da Automação pelo custo da edificação	1,61	%

Fonte: Os autores.

Pode-se constatar que o custo da automação, apesar de ser apenas uma relação dos valores dos componentes eletrônicos necessários, representou aproximadamente 1,61% do valor total da residência. Essa porcentagem reflete que a implementação desses sistemas representa baixo impacto no custo total da edificação.

5. Considerações finais

Neste estudo, foi aplicada a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) para um projeto de automação residencial em uma residência unifamiliar de dois pavimentos. A modelagem BIM permitiu a compatibilização dos modelos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário, de instalações elétricas e automação, que desde o início apresentou inúmeras incompatibilidades com os sistemas projetados em metodologia convencional, demonstrando que soluções simples como a previsão de *shafts* e fiadas falsas acima das vigas baldrames poderiam auxiliar o processo construtivo para abrigar eletrodutos e tubulações. Conclui-se que a plataforma BIM se apresenta como uma grande aliada e facilitadora na gestão de modificações de projeto, podendo servir como uma plataforma de gestão de equipes e projeto, auxiliando na racionalização da construção, reduzindo custos e atrasos em obras.

A automação residencial, baseada em tecnologia como o Arduino oferece soluções simples e acessíveis para todos os públicos, independentemente do nível de conhecimento, uma vez que a plataforma possui uma comunidade atuante com inúmeros projetos e tutoriais, que permite aprender a implantar dispositivos capazes de controlar diversos aspectos dos ambientes, incluindo iluminação, climatização, segurança e entretenimento.

É possível destacar a importância da automação residencial na atualidade, respondendo às demandas por moradias mais eficientes energeticamente, seguras e integradas as novas tecnologias. Ainda, a integração com a Internet das Coisas (IoT) permite criar ambientes inteligentes e adaptáveis ao comportamento dos moradores.

Por fim, pode-se concluir que a automação residencial utilizando o Arduino tem custo baixo em relação ao valor total da edificação, demonstrando ser uma possibilidade para que pessoas de todas as classes tenham acesso a automação em suas residências.

6. Referências

[1] COELHO, S. S.; NOVAES, C. C. *Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil*. Bookman, [s. l.], 2021. Disponível em: http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~gpacc/BIM/referencias/COELHO_2008.pdf. Acesso em: 07 set. 2023.

[2] CAMPESTRINI, T. F.; GARRIDO, M. C.; MENDES JR, R.; SCHEER, S.; FREITAS, M. C. Duarte. *Entendendo BIM*. 1. ed. Curitiba, Paraná, Brasil: UFPR, 2015. Disponível em: http://www.gpsustentavel.ufba.br/documentos/livro_entendendo_bim.pdf. Acesso em: 7 set. 2023.

[3] NUNES, A. B. C. *BIM na avaliação de sustentabilidade de edifícios.* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, dez/2022. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/83123. Acesso em: 08 set. 2023.

[4] MURATORI, J. R.; DAL BÓ, P. H. Capítulo I *Automação residencial:*

histórico, definições e conceitos. O Setor elétrico, p. 70-77, 2011. Disponível em: https://static2.voltimum.com/sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/04_automacao_residencial1.pdf. Acesso em: 19 set 2023.

[5] TEZA, V. R. *Alguns aspectos sobre a automação residencial: domótica.* 2002., Dissertação de Mestrado em Ciências da computação na Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/83015. Acessado em 29 out. 2023.

[6] SGARBI, J. A.; TONIDANDEL, F. *Domótica inteligente: automação residencial baseada em comportamento.* In: Workshop de Teses e Dissertações em Inteligência Artificial, Ribeirão Preto, São Paulo. 2006. Disponível em: https://fei.edu.br/~flaviot/ibas/dowloadfiles/DissertacaoSgarbi.pdf. Acessado em: 29 de out. 2023.

[7] FACCIONI FILHO, M. *Internet das coisas.* Unisul Virtual – Universidade do sul de Santa Catarina, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mauro-Fazion-Filho/publication/319881659_Internet_das_Coisas_Internet_of_Things/links/59c038d5458515e9cfd54ff9/Internet-das-Coisas-Internet-of-Things.pdf Acessado em: 12 set. 2023.

[8] SANTOS, B. P.; SILVA, L. A. M.; CELES, C. S. F. S.; BORGES NETO, J. B.; PERES, B. S.; VIEIRA, M. A. M.; GOUSSEVKAIA, O. N.; LOUREIRO, A. A. F. *Internet das coisas: da teoria à prática.* Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 31, p. 16, 2016. Disponível em: https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf. Acessado em: 12 set. 2023.

[9] SANTAELLA, L.; GALA, A.; POLICARPO, C.; GAZONI, R.; *Desvelando a Internet das coisas.* Revista Geminis, v. 4, n. 2, p. 19-32, 2013. Disponível em: https://www.revistageminis.ufscar.br/index.php/geminis/article/view/141. Acessado em: 12 set. 2023.

[10] AUTODESK, *Software Revit.* Disponível em: https://www.autodesk.com.br/products/revit . Acessado em: 10 set. 2023.

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Plano de Ação Climática do Rio: hortas urbanas e parques na Área de Planejamento 3

Rio Climate Action Plan: Urban Gardens and Parks in Planning Area 3

CAMPOS, Raquel[1]; PERTEL, Monica[2]
raquel.acampos.pea2022@poli.ufrj.br[1]; monicapertel@poli.ufrj.br[2].

[1]Mestranda em Engenharia Ambiental (PEA UFRJ), Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
[2]D.Sc. Professora Adjunta, Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Plano de ação climática
Espaços livres
Hortas urbanas
Parques urbanos

Key word:
Climate action plan
Open Spaces
Urban gardens
Urban Parks

Resumo:

O Rio de Janeiro, importante centro econômico e costeiro do Brasil, enfrenta desafios decorrentes de seu crescimento urbano desordenado, incluindo escassez de áreas verdes, formação de ilhas de calor e insegurança alimentar. Este estudo identifica 17 áreas potenciais para implementação de hortas urbanas e parques na Área de Planejamento 3 (AP-3) do Rio de Janeiro, visando mitigar os desafios urbanos previamente apresentados. A pesquisa considerou espaços livres, densidades demográficas e proximidade a escolas públicas, alinhando-se ao Plano de Ação Climática da cidade. Conclui-se que, apesar dos benefícios, a implementação enfrenta desafios, principalmente financeiros, sugerindo a necessidade de parcerias público-privadas e novos modelos de gestão.

Abstract

Rio de Janeiro, a major economic and coastal center of Brazil, faces challenges resulting from its uncontrolled urban growth, including scarcity of green areas, formation of heat islands, and food insecurity. This study identifies 17 potential areas for implementing urban gardens and parks in Planning Area 3 (AP-3) of Rio de Janeiro, aiming to mitigate urban challenges presented previously. The research considered open spaces, demographic densities, and proximity to public schools, aligning with the city's Climate Action Plan. It concludes that, despite the benefits, implementation faces challenges, primarily financial, suggesting the need for public-private partnerships and new management models.

1. Introdução

Em todo o mundo, a maior parte das pessoas concentram-se nas cidades, o que as tornam meios indispensáveis para o desenvolvimento econômico, de inovações e transformações sociais. Entretanto, para o crescimento das cidades, observa-se um elevado nível de degradação do meio ambiente, de desigualdades sociais, perda da qualidade de vida e um desenvolvimento que, em geral, é

baseado em um modelo insustentável e de uso ineficiente dos recursos [1].

A ameaça das mudanças climáticas, frente ao contexto exposto, é um grande incentivador para a promoção da sustentabilidade nas cidades, por meio da elaboração e implementação de agendas da gestão pública que incluam a disponibilidade de áreas verdes, o acesso à alimentação adequada e os cuidados com a saúde e o bem-estar da população [2]. De acordo com a autora, o conceito de sustentabilidade aplicado às cidades é amplo, envolvendo a forma como a energia é consumida e fornecida, as emissões por edifícios e transportes, as atividades industriais, e o gerenciamento de água, esgoto e de transportes.

No Brasil, de acordo com o último censo realizado em 2022, cerca de 61% da população encontrava-se nas concentrações urbanas, equivalente a 16,3 milhões de habitantes [3]. Tais números demonstram o efeito descrito anteriormente, de superconcentração populacional nas cidades e, em um contexto de alta desigualdade social, os problemas expostos são potencializados e sentidos de maneira desigual. Estratégias nacionais, estaduais e municipais, no entanto, têm sido desenvolvidas para minimizar os impactos provocados pela insustentabilidade dos centros urbanos brasileiros, como a criação de planos de adaptação climática, projetos de agricultura urbana e periurbana, e programas para o planejamento e a gestão integrada de áreas verdes urbanas.

A exemplo disso, a cidade do Rio de Janeiro, considerada a maior cidade costeira e segundo centro econômico do país, desenvolveu seu Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática, com o objetivo central de construir políticas de Estado alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, e assim nortear as ações da Prefeitura ao longo das diferentes administrações. A cidade, detentora de uma população estimada em 6,2 milhões de pessoas (IBGE, 2023) e dividida em cinco Áreas de Planejamento (AP), dedicou-se em estruturar o plano em 5 temas transversais, sendo dois deles Longevidade e Bem-Estar e Mudanças Climáticas e Resiliência. Houve definição de metas e aspirações, incluindo áreas de planejamento específicas, como a AP-3. Esta área é relativa à zona norte da cidade, abrange 13 Regiões Administrativas e 80 bairros do município, sendo reconhecida como ambiente urbano de médio a alto adensamento construído, forte presença de favelas e carente de áreas verdes intraurbanas e naturais no território, fazendo com que seja a AP mais exposta a altas temperaturas, inundações e escorregamento de massa.

Reconhecendo a relevância de contribuir para as políticas públicas municipais e de fomentar a implementação das estratégias de mitigação dos impactos das mudanças climáticas na Área de Planejamento 3, o trabalho descrito neste artigo objetivou realizar um levantamento prévio de potenciais áreas para implementação de hortas urbanas e parques na área AP-3, com a identificação de oportunidades e seus impactos, como contribuição ao Plano de Ação Climática da cidade do Rio de Janeiro e às suas metas. Foram utilizadas as informações, documentos e dados dispostos nas plataformas da Prefeitura do Rio de Janeiro, em conjunto com referências de literatura associadas às temáticas do trabalho. Com uso de ferramentas de sistema de informação geográfica, foi possível fazer o levantamento prévio de potenciais áreas na AP-3 para implementação de parques urbanos e hortas urbanas, com atendimento aos critérios pré-estabelecidos, como proximidade de escolas e comércios, densidade demográfica e área disponível.

2. Conceitos Norteadores

Em relação ao desenvolvimento sustentável, descrito como sendo a busca de crescimento econômico garanta a preservação do meio ambiente para atender às necessidades da atual e das futuras gerações [4], ao ser aplicado no contexto das cidades, possibilita atribuí-las as características de locais ambientalmente saudáveis, socialmente inclusivas e economicamente produtivas, visando garantir a qualidade de vida das

pessoas, por meio do fortalecimento de relações equilibradas nas estruturas que possuem, e entre espaços privados e públicos [5].

Como forma a contribuir para a promoção do desenvolvimento urbano sustentável, indica-se a implementação de espaços públicos, áreas verdes e dedicados à produção de alimentos, tendo como principais exemplos os parques urbanos e hortas urbanas. Para isso, tem-se como relevante o papel desempenhado pelas áreas livres dispostas na cidade para implementação de tais infraestruturas, de forma a distribuí-las em bairros, zonas e regiões administrativas e permitir o acesso minimamente igualitário a bens físicos públicos.

Os espaços livres são como espaços abertos, em contraposição aos espaços fechados das edificações, sendo definidos como espaços livres de edificação, ou seja, quintais, jardins públicos ou privados, ruas, avenidas, praças, parques, rios, florestas, mangues e praias urbanas ou simples vazios urbanos [6]. Os espaços livres são uma das principais infraestruturas urbanas, pois neles e através deles, grande parte da vida cotidiana ocorre, sendo principais palcos dos conflitos e acordos da sociedade. Suas classificações podem ser diversas, como públicos e privados [7].

Com relação às áreas verdes, entende-se que são as áreas que não possuem edifícios, com alta presença de vegetação, porém, não apresentam função social específica. É um importante componente ambiental, associada à manutenção e à diversificação da flora natural, contribuindo para o aumento das taxas de permeabilidade do solo, percolação e equilíbrio climático [8].

Inserido no contexto de áreas verdes, têm-se os parques urbanos que são espaços públicos de múltiplas finalidades, dentro de área urbana ou periurbana, com predominância de atributos naturais e cobertura vegetal, destinados a proteção e uso sustentável de serviços ecossistêmicos, socialização, lazer ativo e contemplativo, prática de esportes e atividades econômicas, recreativas e culturais da população e que podem ser utilizados para educação ambiental e pesquisa [9]. Tais estruturas são reconhecidos como elementos integrantes de uma cidade, pois atendem aos anseios da população para maior contato com a natureza e execução de atividades relaxantes. Os parques urbanos são categorizados de acordo com seus dimensionamentos e atendimento à população, podendo ser parques de vizinhança (praças e *playgrounds* que apresentam função recreacional, podendo abrigar alguns tipos de equipamentos), parques de bairro (áreas ligadas à recreação, com equipamentos recreacionais, esportivos, entre outros, que requerem maiores espaços do que parques de vizinhança), parques setoriais e distritais (áreas ligadas à recreação com equipamentos que permitam que tal atividade se desenvolva dentro de setores e distritos da cidade) [10]. Em termos de dimensionamento, [11] discorre sobre as questões associadas às áreas verdes urbanas, com foco na constituição das cidades do ponto de vista físico, sendo um espaço de interação urbana (rede rodo-ferroviária), com espaços com construções (habitações, indústrias, comércios, serviços, etc.) e de espaços livres (praças, parques, rios, etc.). Ao apresentar a sugestão de índices urbanísticos para espaços livres, propostos pela Conferência Permanente dos Diretores de Parques e Jardins da República Federal da Alemanha, os autores visaram dar o apoio para reflexão sobre a qualidade e disponibilidade das diferentes categorias de espaços livres, assim como permitir a comparação entre cidades diferentes. Há a sugestão de uma área mínima de 5.000 m² (0,5 ha) e raio de influência de 1.000 metros de distância para os parques de vizinhança, área mínima de 10.000 m² (10 ha) e raio de influência de 1.000 metros de distância para os parques de bairros, para os parques setoriais indica-se uma área mínima de 100.000 m² (100 ha) e distância de 1.200 metros das residências e, para parques regionais, a indicação é que tenham, no mínimo 200.000 metros (200 ha), com a presença de corpos d'água e estarem localizados em qualquer parte da cidade [11].

Por fim, têm-se as hortas urbanas, consideradas a base para a agricultura urbana.

São consideradas Soluções Baseadas na Natureza por serem híbridas para o desenvolvimento urbano sustentável, associado aos aspectos naturais com o meio construído em áreas urbanas [12]. Além disso, contribuem para a regulação de microclimas, da qualidade do ar e do sol o, com a polinização e a redução de ruídos urbanos.

As hortas urbanas garantem saúde, segurança alimentar e nutricional, a melhoria da saúde mental, engajamento civil e a geração de renda para a população do entorno. Tais estruturas também contribuem para a requalificação de espaços, tendo em vista que por vezes são construídas em terrenos abandonados utilizados para descartes irregulares, ou aproveitando áreas subutilizadas das cidades [13].

3. Metodologia

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A cidade do Rio do Janeiro é costeira e o segundo maior centro econômico do Brasil, detentora de uma população, em 2022, de 6,21 milhões de habitantes e densidade demográfica de 5.174,6 habitantes [14]. Para o ano de 2024, estima-se uma população equivalente a 6,7 milhões de pessoas. A cidade é administrada por cinco grandes Áreas de Planejamento (APs), estabelecidas no Plano Diretor, as quais são subdivididas em 33 Regiões Administrativas (RAs), compostas por bairros vizinhos agrupados por suas semelhanças em relação às características morfológicas e socioambientais [8].

A Área de Planejamento 3 (AP-3) abrange a maioria dos bairros localizados na Zona Norte da cidade e é composta por 13 Regiões Administrativas, sendo estas: (Ramos, Penha, Inhaúma, Meier, Irajá, Madureira, Ilha do Governador, Anchieta, Pavuna, Jacarezinho, Complexo do Alemão, Complexo da Maré e Vigário Geral. Em termos de extensão territorial, é a terceira maior, com cerca de 203,50 km² ou 16,6 % do território do município. Isso faz com que concentre cerca de 36% do total de domicílios e 38% da população, ou seja, em torno de 2,5 milhões de pessoas. A Figura 1 (ANEXO A) apresenta a cidade do Rio de Janeiro e seus limites administrativos.

Considerando suas características geomorfológicas, socioeconômicas e espaciais, a AP-3 apresenta um elevado percentual de áreas urbanizadas, ou seja, áreas institucionais e de infraestrutura pública, áreas não edificadas, áreas de comercio e serviços, áreas de educação e saúde, áreas de lazer, áreas de transporte, áreas industriais, áreas de exploração mineral, áreas residenciais, favelas [8].

A AP-3 é uma região urbana de médio a alto adensamento construído, com forte presença de favelas e carentes de áreas verdes intra-urbanas e naturais no território [15]. Ao todo, a área AP-3 possui 9 parques urbanos, totalizando 2.870.453 m² ou 2,87 km² [16]. A ausência de áreas verdes faz com que seja mais exposta a altas temperaturas. As regiões administrativas localizadas na área apresentam sensibilidade a, no mínimo, três perigos climáticos: inundações, escorregamentos de massa e altas temperaturas. Nos quesitos sociais, é a área de planejamento com grande contingente populacional com baixo nível de escolaridade, baixa renda e menor acesso à informação. Conforme apresentado na Figura 2 (ANEXO B), tem-se os potenciais riscos de eventos climáticos para cada região administrativa.

Em 2021, a Prefeitura Municipal lançou o Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da cidade e tem por finalidade a construção das políticas de Estado alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, e assim nortear as ações da Prefeitura ao longo das diferentes administrações. O PDS está ancorado em importantes documentos técnicos elaborados nos últimos anos, como o Visão Rio 500, a Estratégia de Adaptação às Mudanças climáticas, o PMUS (Plano de Mobilidade Urbana Sustentável), o Rio Resiliente e vários outros documentos técnicos.

É considerado um plano de Estado que visa a estruturação de diferentes instâncias de planejamento setorial e assegura os caminhos

que irão orientar a cidade para o alcance do desenvolvimento sustentável. O fundamento orientador para construção do plano foram as metas e indicadores da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, a qual reúne 169 metas e mais de 200 indicadores. A nível local, foram endereçados 134 metas e mais de 900 ações.

De forma geral, o plano direciona questões fundamentais e basilares para melhoria da qualidade de vida na cidade, como o enfrentamento às desigualdades, à redução da pobreza e erradicação da fome, e às mudanças climáticas. Está estruturado em cinco Temas Transversais e suas 23 Aspirações e, em cada uma delas há o desdobramento de uma a cinco estratégias, com a definição de metas até 2030. A Figura 3 (ANEXO C) apresenta os cinco temas transversais do Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática. No contexto deste trabalho, o tema transversal Longevidade e Bem-Estar, com as aspirações LB1 e LB2, e Mudanças Climáticas, com a aspiração MCR4, se conectam. Abaixo, são listadas as metas das quais o trabalho descrito neste documento visa contribuir para o atendimento:

1) LB1.3. Aumentar, no mínimo, em 20% a produção agrícola local, com estímulo à agroecologia, e duplicar a produção anual de gêneros alimentícios do Programa Hortas Cariocas. O programa tem como objetivo incentivar a prática da agricultura urbana, identificando locais com potencial para o cultivo de alimentos orgânicos ou agroecológicos, e oferecer gêneros alimentícios de qualidade a custo acessível, sobretudo nas comunidades pobres. O programa utiliza áreas próximas a comunidades carentes ou escolas municipais para o plantio de verduras, hortaliças e frutos, com a utilização de técnicas orgânicas e aproveitamento da mão-de-obra local em sistema mutirão remunerado, dando prioridade à pequena produção e ao abastecimento alimentar através de sistema de comercialização direta entre produtores e consumidores.
2) LB2.1. Duplicar a cobertura arbórea em ruas, praças e parques da AP3, área com menor índice de áreas verdes e altas temperaturas médias de superfície se comparada às demais regiões da cidade.
3) LB2.3. Estabelecer no mínimo quatro parcerias público-privadas para os Parques Urbanos.
4) MCR4.2. Aumentar em 20% a área destinada à produção agrícola no território municipal.

De forma complementar, aspira-se atender outros itens do Plano, como metas voltadas para a ampliação de corredores verdes na AP-3.

3.1. Metodologia Utilizada

A metodologia consistiu em 5 principais fases. Inicialmente, realizou-se a revisão de literatura, com a pesquisa por trabalhos, projetos e materiais associados à planejamento urbano sustentável, mapeamento de espaços livres nos grandes centros, implementação de hortas urbanas e parques. Nesta fase, também foi realizada a análise de documentações disponibilizadas pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, como o Plano de Ação Climática, as políticas públicas municipais existentes e condizentes ao trabalho, juntamente com a identificação das iniciativas em andamento promovidas pelo órgão.

No segundo momento, foram levantados os dados geoespaciais, socioeconômicos e demográficos da área de estudo. Houve a pesquisa por dados e mapas relativos às áreas verdes existentes e espaços não utilizados presentes na região. Foram obtidos projetos e trabalhos acadêmicos publicados pelo Sistemas de Espaços Livres no Rio de Janeiro (SEL-RJ), grupo interdisciplinar constituído em 2007 e vinculado ao Programa de Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O objetivo do grupo é o estudo dos sistemas de espaços livres de edificação e sua relação com o planejamento e desenho urbanos e com a configuração e a dinâmica da paisagem na cidade e no Estado do Rio de Janeiro.

Por meio dos documentos obtidos do SEL-RJ, foi possível direcionar a análise espacial, terceira fase da metodologia, por meio da aplicação de critérios de seleção de potenciais áreas, como proximidade/concentração de escolas, densidade demográfica e tamanho mínimo recomendado pela literatura para implementação de parques. Ainda se realizou a identificação de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para implementação das estruturas sugeridas nas potenciais áreas identificadas.

Posteriormente, houve a sistematização e análise das informações com uso dos softwares ArcGIS e Excel, para visualização de mapas e análise dos dados, respectivamente, com posterior interpretação dos resultados obtidos, à luz das metas do Plano de Ação Climática da cidade do Rio de Janeiro. Os desafios e oportunidades associados à implementação das soluções também foram sumarizadas e analisadas.

Como última fase da metodologia. realizou-se a análise FOFA (do acrônimo em inglês para os termos Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats). Esta é uma ferramenta de gestão estratégica que visa analisar os pontos fortes e fracos, as oportunidades e ameaças de um negócio ou iniciativa. Após a análise, o gestor é capaz de estruturar um plano de ação para redução dos riscos e aumento das chances de sucesso dos projetos [17]. Comumente, os pontos fortes e fracos são inerentes ao contexto analisado, enquanto as oportunidades e ameaças, têm origem externa.

Neste trabalho, realizou a avaliação a fim de reconhecer as potencialidades e deflatores na implementação de parques e hortas urbanas na área AP-3. Posteriormente foram elaboradas as conclusões obtidas com a identificação de futuras propostas de projeto para complementação ao trabalho realizado

4. Resultados e Discussões

4.1. Levantamento de Potenciais Áreas

Com os dados relativos à área AP-3, obtidos na plataforma data. Rio, associados ao mapa realizado por SEL-RJ [22] para o levantamento das áreas livres da cidade do Rio de Janeiro, foi possível mapear, mesmo que de maneira incipiente, potenciais áreas para implementação de parques e hortas urbanos. Foram considerados os dados quantitativos de escolas, de população e o número de domicílios no censo de 2022. Houve a organização das informações por Regiões Administrativas da AP-3, como mostra a Tabela 1 (ANEXO D). A Figura 4 (ANEXO E), apresenta os espaços livres públicos e privados da cidade do Rio de Janeiro, proposto pelo SEL-RJ.

Constatou-se que as regiões do Méier (RA 13) e de Madureira (RA 15) detém as maiores populações da área, além de possuírem as maiores áreas territoriais, atrás da Ilha do Governador. Isso demonstra a relevância de implementação de parques urbanos e hortas para atendimento da demanda da região, mesmo que, se reconheça os desafios em identificar áreas adequadas para tal, pensando no alto adensamento populacional e estrutural de ambas as regiões.

Para filtro e seleção de potenciais áreas disponíveis nas regiões, fez-se a avaliação visual quanto à ocupação dos espaços de maiores dimensões, porém, atentou-se às classificações estabelecidas por SEL-RJ para melhor alinhamento. Foram identificadas áreas privadas e áreas públicas, incluindo as praças não implantadas, ou seja, aquelas determinadas em projeto de loteamento como espaço livre público para atividades recreativas e que não foram executadas. Além disso, foram avaliadas determinadas áreas de uso especial/dominial, para implementação de parques, considerando a dimensão mínima de 0,5 ha. Houve a priorização de áreas próximas do maior número de escolas possíveis, a fim de viabilizar o aproveitamento dos espaços sugeridos pelos estudantes e permitir a distribuição dos alimentos produzidos nas hortas, nas escolas. Ao todo, foram contabilizadas 543 unidades de ensino públicas municipais na AP-3, considerando bibliotecas, escolas, creches e espaços de desenvolvimento.

Ao todo, 17 áreas foram mapeadas em toda a AP-3, em que todas apresentam potencial de serem, no mínimo, parques urbanos de vizinhança, considerando as dimensões mínimas apresentadas anteriormente. O total de áreas identificadas por região administrativa é apresentado na Tabela 2 apresenta-se o mapa elaborado contendo as informações descritas previamente e as áreas mapeadas, para a AP-3.

Tabela 2 - Total de áreas mapeadas como potenciais áreas de implementação de parques e hortas na AP-3, por região administrativa.

CÓDIGO AP	CODIGO RA	REGIÃO ADMINISTRATIVA	POTENCIAIS ÁREAS	
			Quantidade	Hectares (ha)
AP 3.1	10	Ramos	1	1,00
AP 3.1	11	Penha	2	4,00
AP 3.2	12	Inhaúma	3	5,00
AP 3.2	13	Méier	3	8,00
AP 3.3	14	Irajá	2	2,00
AP 3.3	15	Madureira	2	3,00
AP 3.1	20	Ilha do Governador	0	0,00
AP 3.3	22	Anchieta	2	13,00
AP 3.3	25	Pavuna	1	25,00
AP 3.2	28	Jacarezinho	0	0,00
AP 3.1	29	Complexo do Alemão	0	0,00
AP 3.1	30	Complexo da Maré	0	0,00
AP 3.1	31	Vigário Geral	0	0,00
		TOTAL	16,00	61,00

Fonte: Os autores

A Figura 5 (ANEXO F) apresenta o mapa produzido com as informações referentes aos potenciais locais mapeados para a implementação de hortas e parques urbanos, as unidades de educação e os limites das 13 RAs da AP-3.

Não foram identificadas potenciais áreas em locais como o Complexo do Alemão, Complexo da Maré e Vigário Geral. Isto pode estar associado à alta concentração de moradias, regulares e irregulares, impossibilitando que haja a existência de áreas disponíveis para a implantação de parques e hortas em maior escala. Há a associação, também, com o nível de detalhamento dos dados e imagens disponibilizadas dos locais, o que não permite fazer a visualização adequada dos pontos e áreas dispostas. Foram observados diversos campos de futebol e, por entender que são também, áreas de lazer e de socialização tão relevantes quanto os parques e hortas, não foram inclusos como potenciais áreas.

Destaque-se o fato de que algumas das áreas identificadas acompanham a linha férrea ou de metrô. Este cenário de utilização das grandes áreas à margem destes transportes demonstra uma importante oportunidade de ampliação da implantação de grandes parques na cidade, a exemplo do Parque Madureira. O conceito de parque lineares, intervenções urbanísticas sustentáveis que geralmente acompanham rios ou antigas linhas de trem, são implantadas em áreas que precisam ser preservadas ou revitalizadas, o que ajuda a proteger o meio ambiente e a melhorar a qualidade de vida da população, fortalecendo a conexão dela com a natureza [18].

A transformação das linhas férreas em espaços livres públicos dispõe de potencial para a recuperação ambiental dos fundos de vales, associado à implantação de práticas esportivas, educativas e de recreação públicas [19, 20]. Ao redor do mundo, iniciativas têm promovido promove a criação de corredores verdes ao longo das vias férreas desativadas, que associam a conservação dos recursos naturais à preservação histórica e à promoção do uso público, com a implantação de trilhas para pedestres e ciclistas, e demonstram na prática os benefícios dessa associação.

4.2. Análise de Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças (FOFA)

Neste trabalho, realizou-se a avaliação FOFA a fim de reconhecer as potencialidades e deflatores na implementação de parques e hortas urbanas na área AP-3. Houve embasamento nos materiais pesquisados, estudos de casos e resultados obtidos no levantamento de potenciais áreas. O Quadro 1 (ANEXO G) expõe os pontos identificados, para cada um dos quadrantes da análise FOFA.

Em relação aos fatores associados à investimentos, propõe-se a criação de modelo de negócio para a implementação de parques. Isso porque, por meio do modelo de negócio, é possível realizar a priorização de ações [21]. Faz-se necessário, portanto, a avaliação do custo de oportunidade da ação e sua viabilidade socioeconômica, qualificando a decisão quanto à sua execução, pois busca-se pela efetividade nas ações públicas a partir do reconhecimento

do potencial de se produzir os melhores retornos econômicos e sociais em face dos investimentos realizados.

A partir do estudo de 56 casos de implementação de Soluções Baseadas na Natureza na Europa, foi possível determinar cinco tipologias de governança de parques, dentre elas, o novo gerenciamento público e as parcerias privado-privado [22]:

• Novo gerenciamento público: a governança se dá com base em parcerias público privadas e correspondente redução dos serviços governamentais;

• Parcerias privado-privado: modelo de governança no qual não há envolvimento do setor público, mas sim é realizado por organizações comunitárias, redes empresariais e outros.

No contexto dos parques e hortas urbanas, ambos os modelos podem vir a mitigar as fraquezas relacionadas à investimentos das áreas, porém, é importante que haja um avanço no nível de maturidade no estabelecimento de processos e diretrizes de governança para a adequada gestão das parcerias.

5. Considerações Finais

A partir da realização do trabalho, constatou-se a relevância das áreas verdes e de agricultura para o contexto urbano, pois estes promovem a sustentabilidade urbana e o ganho de bem-estar social. A corrida para tornar grandes centros mais resilientes aos eventos climáticos extremos, associada ao interesse de fomentar cidades saudáveis e com crescimento econômico, têm garantido a implementação de iniciativas *multistakeholders*, vislumbrando o atendimento à Agenda 2030 e aos seus objetivos e metas.

O contexto do Rio de Janeiro, em especial da AP-3, é considerado complexo, com altos níveis de desigualdade, exposição maior aos riscos ambientais e um histórico de negligência e desassistência dos órgãos públicos em prol do planejamento urbano coerente e justo para todos. Constatou-se que o cenário das regiões administrativas da AP-3 é de elevada aglomeração de pessoas, de construções e de pouco verde. Observa-se a implementação de políticas que restringem o acesso ao tempo de ócio e ao contato com a natureza, refletindo uma concepção que não reconhece estes elementos como direitos universais e inalienáveis dos cidadãos. Os resultados deste trabalho indicam os desafios para a implementação de áreas, que em geral são extensas, em cidades que já se encontram consolidadas. Cabe aos gestores públicos, juntamente com os profissionais pertinentes, pensar estratégias que viabilizem, muito mais que o atingimento de metas a médio e longo prazos, o cumprimento de todo ser humano de ter qualidade de vida, com acesso a estruturas adequadas, alimentação de qualidade e convívio social.

Tratando-se de investimentos, foram identificadas oportunidades que colocam a cidade do Rio de Janeiro em vantagem, como sendo uma das principais cidades visitadas no país e reconhecida pelo alto engajamento em iniciativas e parcerias que viabilizem a sustentabilidade em seu território. É importante que, com a entrada de novos investimentos, estes sejam alocados de forma minimamente justa, para que todos os moradores da cidade possam usufruir destes recursos e, somado à isso, contribuam com as tomadas de decisões em relação ao uso dos mesmos.

6. Referências

[1] LOPES, A. F. A. O Programa Cidade Sustentável, seus Indicadores e Metas: Instrumentos Metodológicos para a Avaliação da Sustentabilidade no Município de Prata/MG. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

[2] GEHL, J. Cidades Para Pessoas. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

[3] BRASIL. Censo 2022 indica que o Brasil totaliza 203 milhões de habitantes. GOV.Br. 28 jun. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2023/06/censo-

2022-indica-que-o-brasil-totaliza-203-milhoes-de-habitantes#:~:text=%C2%BB%20Em%202022%2C%20as%20concentra%C3%A7%C3%B5es%20urbanas,viviam%20em%20cidades%20desse%20porte. Acesso em: 01 out. 2024.

[4] CMMAD. Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991. CMMAD, 1988. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf. Acesso em: 12 out. 2024.

[5] UN-HABITAT. Global Report on Human Settlements 2009: Planning Sustainable Cities. 2009. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Global%20Report%20on%20Human%20Settlements%202009%20Planning%20Sustainable%20Cities.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.

[6] BATTEMARCO, B. P, YAMAMOTO, L. M. T., VERÓL, A. P., REGO, A. Q., VASCONCELLOS, V. M. N., MIGUEZ, M. M. *Sistemas de Espaços Livres e Drenagem Urbana: Integração entre o Manejo Sustentável de Águas e o Planejamento Urbano.* São Paulo: Paisagem Ambiente: Ensaios, n. 42, p. 55-74, jul/dez 2018. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/145186/153018. Acesso em: 01 out. 2024.

[7] MACEDO, S. S., QUEIROGA, E. F., GALENDER, F. C., CAMPOS, A. C. de A., CUSTÓDIO, V., DEGREAS, H., GONÇALVES, F. M. *Sistemas de Espaços Livres na Constituição da Forma Urbana Contemporânea no Brasil: Produção e Apropriação (QUAPÁ-SEL II).* São Paulo: Paisagem Ambiente: Ensaios, n. 30, p. 137-172, 2012. Disponível em: https://revistas.usp.br/paam/article/view/78112/82200. Acesso em: 01 out. 2024.

[8] MENDONÇA, B. R. E., PEREIRA, R. D., TÂNGARI, V. *Geotecnologias Aplicadas ao Mapeamento dos Espaços Livres e Arborização Urbana na Cidade do Rio de Janeiro: Estratégias, Processos e Aprendizados para as Práticas de Planejamento Urbano Sustentável.* In: XVI Encontro Nacional de Ensino de Paisagismo em Escolas de Arquitetura e Urbanismo no Brasil. Cuiabá, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366310833_GEOTECNOLOGIAS_APLICADAS_AO_MAPEAMENTO_DOS_ESPACOS_LIVRES_E_ARBORIZACAO_URBANA_NA_CIDADE_DO_RIO_DE_JANEIRO?enrichId=rgreq-95c4ad0d95c257532528e25254c487aa-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM2NjMxMDgzMztBUzoxMTQzMTI4MTEwNzYwMjg4MUAxNjcxMTMwMjcyMzE4&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf. Acesso em: 01 out. 2024.

[9] MMA. Ministério do Meio Ambiente. Programas Cidades+Verdes. Brasília, 2021. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/images/agenda_ambiental/areas/ProgramaCidadesVerdes.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.

[10] LOBODA, C. R., DE ANGELIS, B. L. D. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. Guarapuava: Ambiência, v.1, n.1, p. 125-139, jan./jun. 2005. Disponível em: https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/157/185. Acesso em: 05 out. 2024.

[11] LIMNIOS, G., FURLAN, S. A. Parques Urbanos no Município de São Paulo – SP (Brasil): Espacialização e Demanda Social. São Paulo: Revista LABVERDE, n. 9, artigo 9, jun. 2013. Disponível em: https://core.ac.uk/reader/268353940. Acesso em: 05 out. 2024.

[12] ARTMANN, M., SARTISON, K. *The Role of Urban Agriculture as a Nature-Based Solution:* A Review for Developing a Systemic Assessment Framework. Sustainability, v. 10, n. 1937, 2018.

Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/10/6/1937. Acesso em: 05 out. 2024.

[13] COSTA, B. F. M., SAKURAI, T. A *Participação Comunitária em Projetos Baseadas na Natureza na Cidade de São Paulo: Estudo das Hortas Urbanas, Horta da Dona Sebastiana, Agrofavela-Refazenda e Horta Popular Criando Esperança.* São Paulo: Revista LABVERDE, FAUUSP, v. 11, n.1, 2021. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/188679/178439. Acesso em: 05 out. 2024.

[14] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Panorama 2024: Rio de Janeiro.* Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama. Acesso em: 06 out. 2024.

[15] PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO; COPPE-UFRJ; CENTRO-CLIMA. *Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro.* dez. 2016. Disponível em: https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/9857523/4243335/EstrategiadeAdaptacaoasMudancasClimaticasdaCidadedoRiodeJaneiro.pdf. Acesso em: 06 out. 2024.

[16] PMCRJ. Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. *Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro.* 2021. Disponível em: https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/12937849/4337195/PDSCOMPLETO_0406_errata_09062021compactado.pdf. Acesso em: 06 out. 2024.

[17] SEBRAE. *Movimento Empreenda: Ferramenta Análise SWOT (Clássico).* S.d. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/ME_Analise-Swot.PDF. Acesso em: 10 out. 2024.

[18] HABITABILITY. *Parques lineares: o caminho entre natureza e áreas urbanas.* 5 set. 2024. Disponível em: https://habitability.com.br/parques-lineares-o-caminho-entre-natureza-e-areas-urbanas/. Acesso em: 10 out. 2024.

[19] WOOLLEY, H. Urban Open Spaces. Londres: Spon Press, 2023.

[20] QUEIROGA, E. Do vazio ao espaço público: requalificando paisagens, reestruturando territórios. São Paulo: Paisagem Ambiente: ensaios, FAU-USP, v. 28, São Paulo, 21-40, 2011.

[21] CITY CLIMATE FINANCE GAP FUND, EUROPEAN INVESTMENT BANK, GIZ, PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Modelo de Negócio de Adaptação à Mudança Climática Visando a Participação do Setor Privado na Gestão e Modelo de Governança de Múltiplas Partes. 2023. Disponível em: https://ambienteclima.prefeitura.rio/wp-content/uploads/sites/81/2023/07/4_Modelo-de-Negocios-de-Adaptacao-a-Mudanca-do-Clima.pdf. Acesso em: 11 out. 2024.

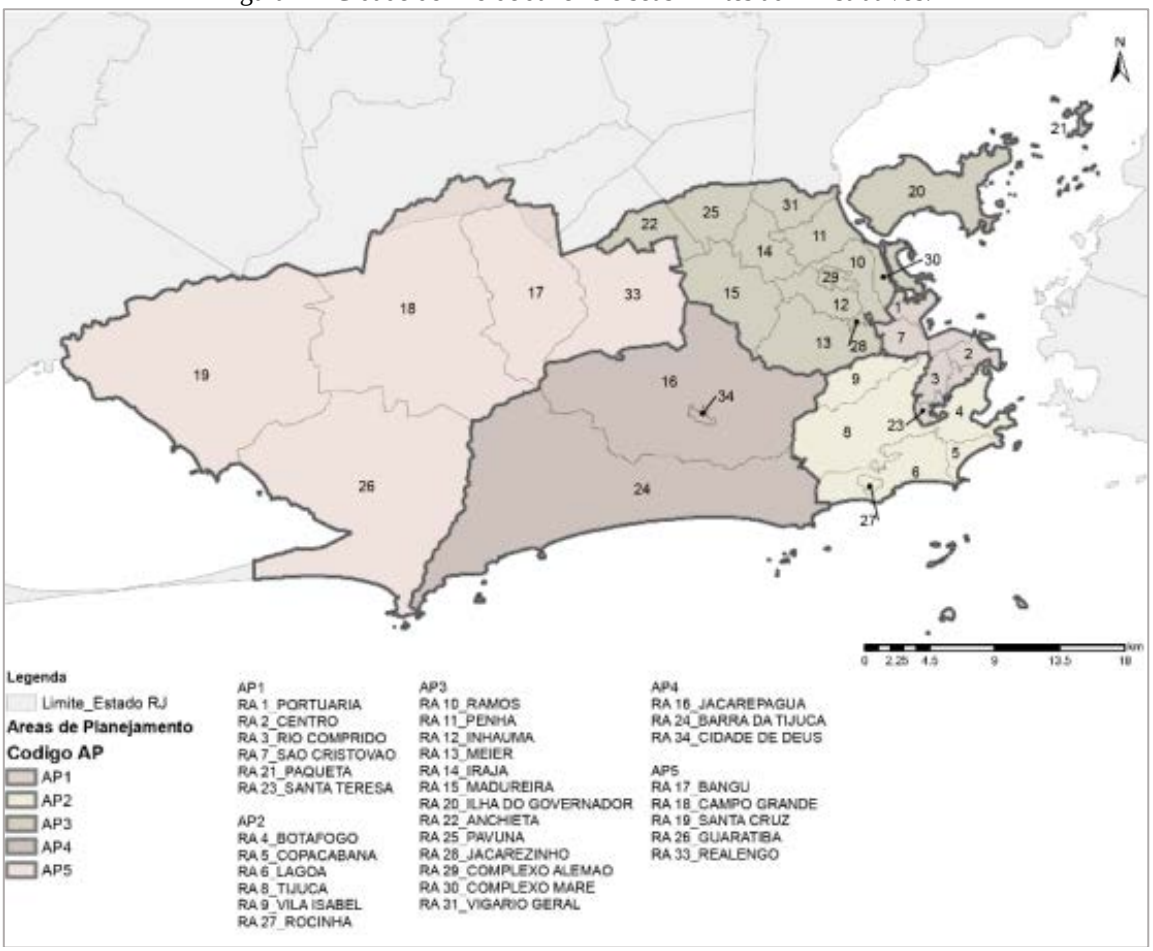
[22] McQUAID, S. *The Nature-Based Solutions Business Model Canvas & Guidebook.* Trinity College, Dublin & Horizon Nua: Connecting Nature. 2019.

[23] SEL-RJ. Sistema de espaços livres-Rio De Janeiro. *Pesquisas Grupo SEL-RJ.* Rio de Janeiro: set. 2018. Disponível em: https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6438610/4222234/76SistemadeEspacosLivresdoRiodeJaneiro.pdf. Acesso em: 05 out. 2024.

7. Anexos e Apêndices

ANEXO A

Figura 1 – Cidade do Rio de Janeiro e seus limites administrativos.



Fonte: Mendonça et. al [8].

ANEXO B

Figura 2 – Potenciais riscos de eventos climáticos para cada Região Administrativa da cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ, CENTRO-CLIMA [15]

ANEXO C

Figura 3 – Temas transversais propostos para o Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática para a cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro [16]

ANEXO D

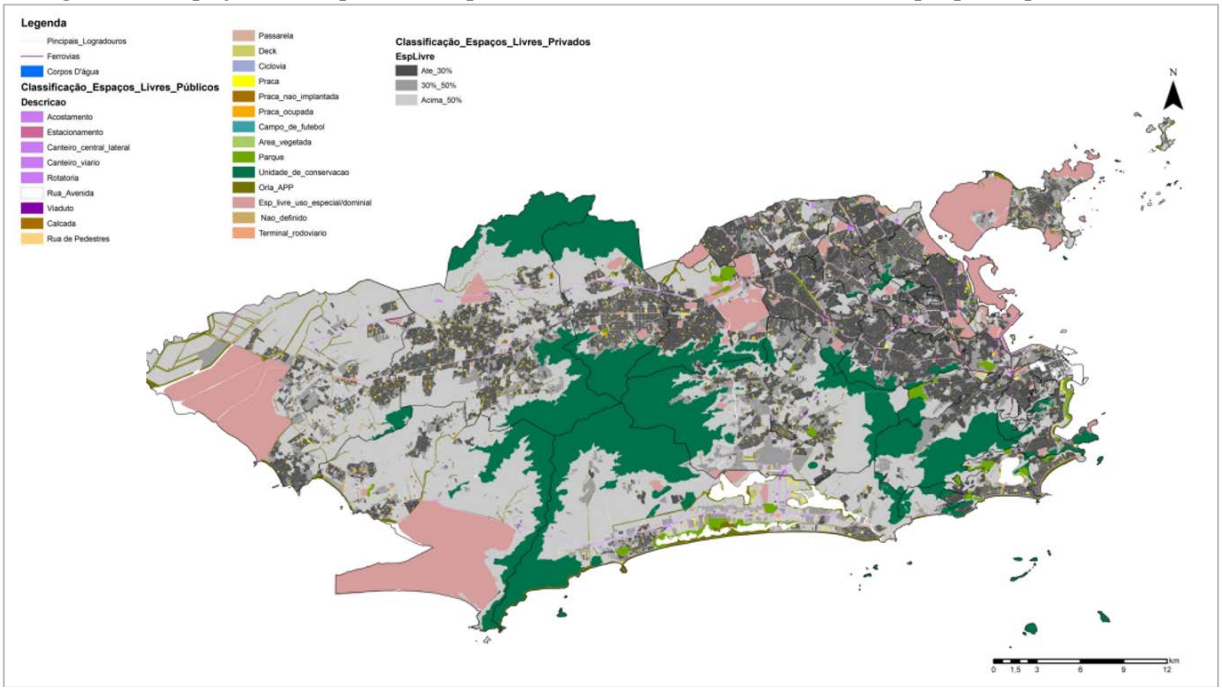
Tabela 1 – Potenciais riscos de eventos climáticos para cada Região Administrativa da cidade do Rio de Janeiro.

CÓDIGO AP	CODIGO RA	REGIÃO ADMINISTRATIVA	ÁREA		POPULAÇÃO			DOMICÍLIOS	
			km²	%	nº pessoas	%	Dens. Demográfica (hab/km²)	nº domicílios	%
AP 3.1	10	Ramos	11,30	5,55%	131.402	6,28%	11.626,99	60.205	6,19%
AP 3.1	11	Penha	13,96	6,86%	140.289	6,71%	10.051,54	68.143	7,01%
AP 3.2	12	Inhaúma	10,88	5,35%	123.797	5,92%	11.376,46	58.269	5,99%
AP 3.2	13	Méier	29,41	14,45%	353.827	16,91%	12.030,78	175.292	18,02%
AP 3.3	14	Irajá	15,04	7,39%	177.933	8,50%	11.826,81	82.954	8,53%
AP 3.3	15	Madureira	30,18	14,83%	304.914	14,57%	10.102,79	147.496	15,16%
AP 3.1	20	Ilha do Governador	41,45	20,37%	184.674	8,83%	4.454,85	84.503	8,69%
AP 3.3	22	Anchieta	14,19	6,97%	142.720	6,82%	10.058,90	61.713	6,34%
AP 3.3	25	Pavuna	17,48	8,59%	206.728	9,88%	11.823,31	88.223	9,07%
AP 3.2	28	Jacarezinho	0,94	0,46%	35.348	1,69%	37.449,81	14.702	1,51%
AP 3.1	29	Complexo do Alemão	2,96	1,46%	54.202	2,59%	18.306,15	22.684	2,33%
AP 3.1	30	Complexo da Maré	4,27	2,10%	124.832	5,97%	29.243,06	54.883	5,64%
AP 3.1	31	Vigário Geral	11,41	5,61%	111.626	5,34%	9.779,68	53.700	5,52%
		TOTAL	203,49	100,00%	2.092.292	100,00%	10.281,94	972.767	100,00%

Fonte: As autoras.

ANEXO E

Figura 4 – Espaços livres públicos e privados da cidade do Rio de Janeiro, proposto pelo SEL-RJ.



Fonte: SEL-RJ [23]

ANEXO F

Figura 5 – Mapa contendo as informações referentes aos potenciais locais mapeados para a implementação de hortas e parques urbanos, as unidades de educação e os limites das 13 RAs da AP-3.

Fonte: As autoras.

ANEXO G

Quadro 1 – Análise FOFA para implementação de parques e hortas urbanas na AP-3

	Fatores de contribuição (+) para a implementação	**Fatores de impedimento (-) para a implementação**
Aspectos Internos	**Forças:** • Promoção de lazer e bem-estar para a população do entorno, como locais de encontro, espaços para realização de atividades educativas e esportivas, assim como a realização de eventos; • Aumento do nível de arborização, promovendo a melhoria da qualidade do ar, a redução da temperatura local e a maior captura de CO_2; • Amortização de grandes volumes de água de chuva, reduzindo o risco de inundação; • Fomento ao comércio local e à divulgação de empreendedores locais, com a abertura de novos negócios e realização de feiras; • Promove e conserva a biodiversidade, sendo espaços para acolhimento e desenvolvimento de animais; • Realização de atividades para a educação ambiental da população; • Em relação às hortas: produção de alimentos e distribuição local, com a geração de renda e trabalho.	**Fraquezas:** • Para parques, há a demanda por áreas extensas, que, no contexto de adensamento da AP-3 podem não ser disponíveis; • Exigência por investimentos significativos para implementação; • Demanda por manutenções contínuas, o que exige maiores recursos; • Podem elevar o nível de violência em determinados horários; • Exigência por equipes dedicadas para atuação nos locais, o que pode não corresponder aos interesses de profissionais e pessoas da região; • No contexto das hortas, a qualidade do solo pode impossibilitar o plantio de alimentos diversos; • Dependência do bom senso da população para a preservação dos locais.
Aspectos Externos	**Oportunidades:** • Propagação dos conceitos de cidades sustentáveis e resilientes, assim como das iniciativas de Soluções Baseadas na Natureza; • Interesse público para atendimento dos objetivos e metas dos planos estabelecidos; • Interesse da iniciativa privada em investir em soluções voltadas para a natureza nas cidades, inclusive por meio de parcerias público-privadas; • Engajamento local para implementação dos espaços; • Possibilidade de integração com programas de educação e saúde pública; • Criação de empregos verdes e fomento à economia local; • Aumento da reputação da cidade e atração para novos investidores externos.	**Ameaças:** • Alterações de governos, que não darão continuidade aos processos iniciados; • Descomprometimento da gestão atual em realizar o gerenciamento das áreas de forma adequada; • Interferência do crime organizado e de forças militares paralelas, o que pode gerar insegurança na população na utilização dos espaços; • Baixo engajamento da população para o cuidado e uso dos espaços; • Para as hortas, pode haver a desconfiança da população quanto à aquisição dos alimentos produzidos; • Resistência de parte da comunidade à mudança no uso do espaço • Inexistência de áreas públicas disponíveis e exigência para a aquisição de áreas privadas; • Pressão imobiliária para outros usos do solo; • Poluição urbana afetando a qualidade do solo e da produção.

Fonte: As autoras.

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Desempenho térmico e econômico de vidros de controle solar na região amazônica: um estudo experimental

Thermal and economic performance of solar control glasses in the amazon region: an experimental study

DANTAS, Bárbara[1]; DE OLIVEIRA, Douglas[2]; OLIVEIRA, Clei[3]; UBAIARA, Alaan[4].
Barbara.dantas@icloud.com[1]; wdoliveira@unifap.br[2]; marcioclei@unifap.br[3]; aubrito@unifap.br[4].

[1] Engenheira civil, mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação na Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

[2] Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação na Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

[3] Técnico de Laboratório no curso de Engenharia Elétrica e professor mestre do curso de especialização em sistemas fotovoltaicos da Universidade Federal do Amapá.

[4] Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação na Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brasil.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Eficiência energética;
Sustentabilidade;
Conforto térmico.

Key word:
Energy efficiency;
Sustainability;
Thermal comfort.

Resumo:

O vidro de controle solar é um material sustentável utilizado na construção civil, além de ser reciclável, absorve 99,6% dos raios UV e pode bloquear mais de 80% de temperatura externa, diminuindo assim a necessidade de climatização e gerando conforto térmico no interior dos ambientes. Dessa forma, o presente estudo avaliou o desempenho de três diferentes tipos de vidros em uma região amazônica, em relação a absorção de temperatura externa, por meio de uma metodologia experimental que utilizou sensores e datalogger para obtenção dos dados. As análises revelam que o vidro de controle solar é mais eficiente do que o vidro comum incolor e que a sua aplicação contribui para a redução da pegada de carbono associada aos sistemas de climatização artificial.

Abstract

Solar control glass is a sustainable material used in civil construction, in addition to being recyclable, it absorbs 99.6% of UV rays and can block more than 80% of external temperatures, thus reducing the need for air conditioning and generating thermal comfort inside environments. Thus, the present study evaluated the performance of three different types of glass in an Amazon region, in relation to external temperature absorption, through an experimental methodology that used sensors and dataloggers to obtain data. Analyzes reveal that solar control glass is more efficient than common colorless glass and that its application contributes to reducing the carbon footprint associated with artificial air conditioning systems.

1. Introdução

Dada a importância das boas condições térmicas em edificações, é essencial considerá-las no projeto de casas, prédios comerciais, escolas, hospitais e demais construções, garantindo conforto e eficiência energética.

Observa-se que a busca por um maior aproveitamento da iluminação natural, visando reduzir o uso de luz artificial durante o dia, enfrenta o desafio do calor excessivo nos ambientes internos.

Esse calor não apenas eleva o consumo de energia com a climatização, como também causa desconforto físico e emocional, além de expor os ocupantes à radiação UV, que pode ser prejudicial à saúde, aumentando o risco de câncer de pele [1].

Na região amazônica, caracterizada por um clima quente e úmido, essa exposição é ainda mais intensa e recorrente, exigindo especial atenção. No cenário atual da região Norte do Brasil, há uma demanda crescente de energia para proporcionar conforto térmico interno, uma vez que as altas temperaturas predominam ao longo de todo o ano [2].

A região em questão oferece um cenário único e desafiador para a inovação na engenharia de materiais, considerando sua vasta biodiversidade, ecossistemas complexos e as demandas específicas das comunidades locais.

Assim, para tornar os ambientes mais confortáveis diante das intensas variações climáticas, a engenharia de materiais tem buscado aprimorar tecnicamente os produtos disponíveis no mercado, garantindo que sua qualidade esteja alinhada às necessidades das construções modernas. Um dos setores com maior potencial de melhoria térmica e energética nas edificações é o da caixilharia.

Dentro desse contexto, o vidro de controle solar surge como uma solução inovadora, destacando-se por sua tecnologia avançada e benefícios significativos.

Entre suas vantagens, pode-se ressaltar a redução dos custos energéticos, uma vez que esse vidro auxilia no controle térmico ao impedir que parte do calor externo entre no ambiente interno, reduzindo a necessidade de climatização.

Além disso, ele contribui para o controle da luminosidade e do ofuscamento, permitindo a criação de espaços naturalmente iluminados e minimizando a dependência de iluminação artificial durante o dia.

O vidro de controle solar é obtido a partir da adição de uma camada metalizada no seu interior, a qual é produzida com óxidos específicos que, quando combinados em proporções determinadas, conferem propriedades diferenciadas ao material.

Quando comparado aos vidros comuns, temperados e laminados sem tratamento, esse vidro apresenta desempenho superior, ao ser exposto à radiação solar [3]. Sua fabricação incorpora características que maximizam três fatores essenciais para a eficiência energética e conforto térmico nas edificações: absorção de calor, transmissão luminosa e reflexão interna e externa.

Diante desse cenário, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar os benefícios da utilização de vidros de controle solar na região amazônica, por meio de um estudo experimental que comparou seu desempenho ao de um vidro float comum, sem tratamento, e ao de um vidro float comum revestido com película.

2. Referencial teórico

2.1 Construção civil e o aquecimento global

A construção civil avança à medida que há a necessidade de melhorias na infraestrutura de espaços, sejam eles públicos ou privados e esse desenvolvimento, apesar de promover benefícios para a população, também gera impactos ambientais sérios [4].

Sendo assim, de acordo com Anelli [5] a urbanização é um dos grandes agentes promotores do aquecimento do clima e as cidades precisam atualizar as suas formas de

edificar para que seja possível a sobrevivência dos habitantes de forma saudável, e é dentro dessa esfera que se utiliza a construção sustentável.

A construção sustentável pode ser definida como uma forma diferente de conceber, projetar, construir e operar todo tipo de edificação, uma vez que todo o processo é pensado em torno da redução dos impactos ambientais oriundos da atividade [6].

Além disso, a construção sustentável visa promover o uso eficiente de recursos naturais, como a utilização responsável da água, seleção de materiais de construção sustentáveis, práticas de construção que minimizam resíduos e poluição e busca também criar espaços interiores saudáveis e confortáveis, com boa qualidade do ar, iluminação natural e materiais não tóxicos [7].

Para isso, a área de engenharia de materiais se desenvolve cada vez mais, buscando sempre por alternativas economicamente mais viáveis e ecologicamente mais sustentáveis.

Dessa forma, existe uma gama de produtos tecnológicos que promovem a utilização sustentável de recursos naturais, promovendo assim uma melhor eficiência energética das edificações [8].

2.2 Consumo energético na região amazônica

As temperaturas extremas, características da região, podem além de afetar negativamente a saúde das pessoas, levando a problemas como desidratação, sobrecarregar o sistema de fornecimento de energia elétrica [9].

Vale a pena destacar que, além de abrigar a maior floresta do mundo, na região Norte do Brasil, é onde reside boa parte dos habitantes com menor poder aquisitivo do país. A população dessa área encontra problemas sociais graves, como saneamento básico precário, baixa qualidade de infraestrutura e mau fornecimento de energia elétrica [10].

A tarifa média de energia da região é uma das mais altas do país, atingindo aproximadamente R$ 803,00 por megawatt-hora (MWh). Em comparação, um morador da região Sul paga uma média de R$ 638,00/MWh, o que representa uma diferença de 26% a mais para os consumidores do norte [11].

Considerando esse cenário, existem algumas formas de reduzir e otimizar o consumo elétrico, como por exemplo, o emprego de materiais tecnológicos que geram eficiência energética e a aplicação de placas solares fotovoltaicas, uma vez que se observa na região um potencial de geração de energia limpa por meio do sol.

Observa-se em Macapá, capital do Amapá, localizada no extremo norte do Brasil, um aumento significativo de mais de 200% na admissão de novos consumidores dessa fonte de energia limpa entre os anos de 2022 e 2023 [12].

Além da energia solar, os materiais utilizados na construção das edificações têm alta colaboração para um menor ou maior consumo energético pelos habitantes.

Por isso, durante a especificação desses produtos é importante que o profissional da construção civil leve sempre em consideração as características locais de onde os projetos serão edificadas para que possa contribuir com os índices de conforto térmico e acústico e estar alinhado com os objetivos da organização Mundial de Saúde [13].

O uso consciente e ecologicamente correto de energia elétrica é o 7° objetivo e dispõe justamente sobre o acesso a essas fontes de energia sustentáveis e modernas para todos. Entretanto, o setor em questão recebe somente 0,7% do total de investimentos dos recursos disponíveis para o financiamento de todos os compromissos estabelecidos [14].

Existem disponíveis no mercado uma série de materiais que possibilitam a eficiência energética nas edificações. O vidro de controle solar, por exemplo, é um desses

materiais que se destaca por ser um excelente aliado na construção sustentável [15].

2.3 Vidros para a construção civil

Os vidros são classificados como materiais cerâmicos, silicatos, não-cristalinos, que recebem óxidos aditivos em sua composição, como por exemplo, o óxido de cálcio (CaO), o ácido difosfônico (Na2), o óxido de potássio (K2O) e o óxido de alumínio (Al2O3) [16].

Atualmente, a aplicação do vidro é mundialmente difundida devido ao avanço tecnológico que proporcionou mais resistência ao material que. Hoje, além de possibilitar iluminação natural e proteção, controla a passagem de calor externo ao interior do ambiente da edificação, dissipa decibéis acústicos, bloqueia 99,6% dos raios UV e proporciona segurança contra assaltos e incêndios [17].

E, apesar de genericamente, todos os tipos de vidro terem a mesma base de composição química, existe uma variedade de tipos de vidros disponíveis no mercado [18]. Sendo os mais utilizados na construção civil do Brasil: o vidro comum (float), o temperado, o laminado e o de controle solar.

Os vidros de controle solar recebem um tratamento específico que objetiva a minimização do ganho solar através do vidro e para isso, ele atua filtrando parte do espectro da radiação solar.

Dessa forma, dependendo da composição da camada metalizada, a porcentagem de absorção de calor irá variar [19].

Esse tipo de vidro pode ser encontrado no tipo comum float, temperado, laminado e insulado, entretanto o desempenho dele é proporcional ao tipo de vidro. Por exemplo, o vidro cinza refletivo no tipo “comum” bloqueia 78% do calor, enquanto o tipo “insulado” bloqueia 83% do calor [20].

O material diminui a troca de calor entre os ambientes interno e externo, reduzindo a necessidade de climatização e, consequentemente, os custos com eletricidade. Embora o investimento inicial seja mais elevado, a economia gerada nas contas de energia compensa esse valor ao longo do tempo.

Além disso, essa tecnologia agrega valor ao imóvel, promove a sustentabilidade do empreendimento e contribui para a redução das emissões de carbono associadas ao consumo energético [21].

O investimento inicial em tais tecnologias é compensado pela redução das contas de energia, contribuindo também para a valorização do imóvel e a sustentabilidade do empreendimento. Além disso, eles reduzem o carbono associado ao consumo de energia [21].

Estudos apontam que a utilização de vidro de controle solar reduziu 11% a demanda energética total de uma edificação mas que essa redução pode variar entre 13 e 57% dependendo do tipo de vidro de controle solar [22, 23].

E constatam que, ao aplicar um vidro sem controle solar, é possível ter um acréscimo de no mínimo 8% nas contas de energia [24].

Dessa forma, ao considerar o valor inicial de diferença entre os dois tipos de vidro em questão – o vidro sem controle solar e o vidro com controle solar, o consumo elétrico médio diário e mensal e a tarifa da concessionária local é possível calcular o tempo e o retorno financeiro.

Assim, quanto menor o período de payback, mais rápido o investimento se torna vantajoso para o consumidor. Esse período pode ser calculado por meio da Equação 1.

$$\boldsymbol{Payback = K_{CLneg} + \left(\frac{|CL_{neg}|}{CL_{pos} + |CL_{neg}|} \right)} \quad (\mathbf{1})$$

Onde, “KCLneg” é o período do último caixa líquido negativo verificado, “CLneg” é o valor do último caixa líquido negativo e “CLpos” é o valor do primeiro caixa líquido positivo do projeto.

Pontua-se que, ao longo do tempo o dinheiro sofre alterações de valor, as quais

necessitam ser consideradas em uma análise de sensibilidade [25].

A fórmula de Valor Presente é a função financeira que calcula isso, por meio da Equação 2.

$$VP = VF + \frac{1}{(1+i)^n} \qquad (2)$$

Sendo, “VF” o valor futuro, “i” a taxa de desconto e “n” o período. E por meio do fluxo de caixa é possível comparar as receitas do que seria o “fluxo do presente”, que não considera o valor temporal do dinheiro e o “fluxo descontado”, que considera taxas de juros ao longo do tempo.

Dessa forma, embora o custo inicial do vidro de controle solar seja mais alto do que o vidro sem o tratamento, o retorno financeiro é obtido por meio da redução de consumo energético, o que reflete diretamente nas contas de energia.

3. Metodologia

A metodologia do presente estudo foi dividida em três etapas sendo: revisão bibliográfica, ensaios experimentais e análise de dados.

A pesquisa utilizou métodos de busca de anterioridade nas bases de dados dos Periódicos CAPES, Google Acadêmico e Scielo.

Sequencialmente, foi iniciada a etapa de ensaios experimentais, que objetivou a comparação de desempenho entre o vidro comum incolor de 4 mm, o vidro comum cinza de 4 mm com película e o vidro laminado 8 mm cinza refletivo com tratamento de controle solar. A Tabela 1 expõe as propriedades dos vidros analisados.

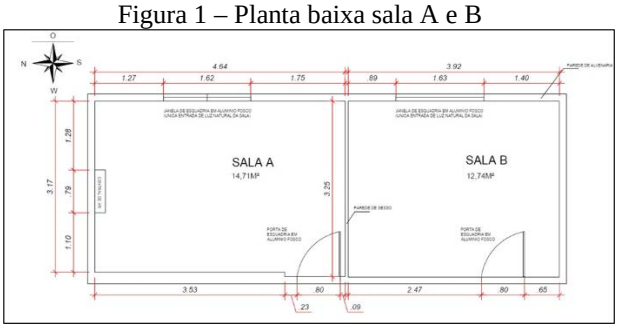
Tabela 1 – Comparativo dos vidros analisados

Propriedade	**Float incolor**	**Float cinza**	**Cinza refletivo laminado**
Transmitância	90,20%	55,80%	15,70%
Refletância externa	8,50%	6,10%	33,60%
Refletância interna	8,50%	5,80%	30,80%
Transmitância UV	72,40%	30,80%	0,10%
Absortância solar	6,10%	36,90%	55,40%
Fator solar	87,30%	65,80%	25,80%

Fonte: Guardian Glass [20]

Para os ensaios de medição de temperatura e consumo energético, foram utilizadas duas salas com dimensões similares em uma empresa, localizada no município de Macapá, Estado do Amapá (latitude 0.0175319, longitude -51.0715816). A figura 1 ilustra a planta baixa dos ambientes onde foram realizados os ensaios, as quais tem respectivamente 14,71m² e 12,74m².

Figura 1 – Planta baixa sala A e B



Fonte: Autores (2025).

O ensaio de temperatura objetivou a aferição da diferença de calor absorvido por meio dos três tipos de vidros distintos e para a execução desse experimento foram utilizadas as seguintes instrumentações, com certificados de calibração: dois termopares tipo J, um sensor de temperatura DS18B20 e um medidor de radiância solar Spektron.

Todos esses equipamentos foram ligados em um datalogger Keysight DAQ970A para o armazenamento dos dados.

No intervalo de 10 em 10 segundos, os dados captados foram: a temperatura externa em graus celsius (°C), a temperatura interna das salas em graus celsius (ºC) e a radiação solar na face externa da janela da sala A.

Os termopares foram instalados na mesma parede, que é de gesso, a qual divide as salas A e B, sendo o termopar de cada sala posicionado na face interna da parede, a 1,50 m do chão, em conformidade com a recomendação descrita na NR-15 [26] de forma a não receber a luz solar direta e vento

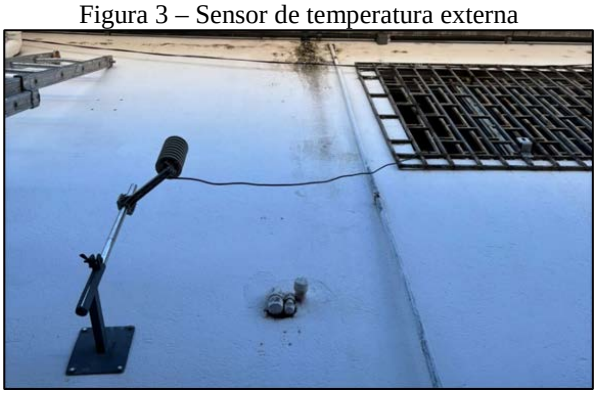
de climatização quando houver, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Termopares sala A e sala B

Fonte: Autores (2024).

O sensor de temperatura DS18B20 à prova d'agua, foi utilizado para medição da temperatura externa e foi instalado no centro externo entre as duas salas, posicionado em um suporte de aço chumbado na parede externa, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Sensor de temperatura externa



Fonte: Autores (2024).

O sensor de radiância solar foi instalado na face externa da janela localizada na sala A, para que fosse possível a captação dos dados de quanto de radiação solar estava sendo recebida na parede das salas, como é possível observar igualmente na Figura 3.

Já o ensaio de consumo energético teve como propósito a comparação, em quilowatt hora (kW/h), da quantidade de utilização de central de ar-condicionado na sala A, com a utilização de vidro de controle solar e, com vidro sem controle solar e a análise de retorno financeiro oriundo da utilização do vidro com controle solar.

A central de ar utilizada para a realização do ensaio foi do tipo split Springer, do modelo, com capacidade nominal de 12.000 BTU/h. Assim, foi utilizado um equipamento medidor de energia com display de potência definido (watts), que foi devidamente aferido por meio de equipamentos calibradores do Laboratório de Energias Renováveis da UNIFAP. Dessa forma, ele foi ligado na tomada de uso específico da central de ar-condicionado e esta foi ligada no medidor, como ilustra a figura 4.

Figura 4 – Ligação do medidor de energia

Fonte: Autores (2024).

As medições foram realizadas em diferentes datas e condições nas salas A e B. A Medição 1 (11, 12 e 15/11/24) ocorreu na Sala A com vidro float cinza com película e sem operação, e na Sala B com vidro float cinza com película e sem operação, sendo um ensaio de medição de dados do ambiente.

A Medição 2 (13, 14 e 18/11/24) foi feita na Sala A com vidro float cinza com película e com operação, enquanto na Sala B o vidro era o mesmo (float cinza com película) e sem operação, com o ensaio abrangendo medição de dados do ambiente e consumo energético.

A Medição 3 (21, 22 e 25/11/24) ocorreu na Sala A com vidro Neutral 14 e com operação, e na Sala B com vidro float cinza com película e sem operação, incluindo também ensaio de medição de dados do ambiente e consumo energético.

Já a Medição 4 (20, 23 e 24/11/24) foi feita na Sala A com vidro Neutral 14 e sem operação, enquanto na Sala B o vidro era float cinza com película e sem operação, sendo realizada apenas a medição de dados do ambiente.

A Medição 5 (27, 28 e 29/11/24) ocorreu na Sala A com vidro Neutral 14 e com operação, e na Sala B com vidro float incolor e sem operação, com o ensaio envolvendo medição de dados do ambiente e consumo energético.

Por fim, a Medição 6 (30/11 e 1 e 2/12/24) foi feita na Sala A com vidro Neutral 14 e sem operação, enquanto na Sala B o vidro era float incolor e sem operação, com ensaio de medição de dados do ambiente.

Por fim, foram feitas as análises de dados dos ensaios realizados, os quais foram catalogados em planilhas e dessa forma, foi possível a comparação de desempenho geral entre os tipos de vidro considerando as mesmas condições externas e de operações internas.

Para a análise de payback foi calculado o tempo necessário para que o investimento adicional no vidro de controle solar fosse recuperado com base nas economias geradas em custos de energia de climatização.

Foi realizado então, tendo a sala A como referência, uma simulação do tipo a análise de sensibilidade, considerando diferentes cenários que variaram entre um ganho de 10 a 60%, e considerando as taxas de juros de 6, 12 e 15% ao ano.

4. Resultados e discussão

Na medição 1 do experimento foi comprovado, por meio dos resultados, a equivalência entre as salas A e B, mesmo sendo a sala A aproximadamente 13% maior em termos de volume do que a sala B.

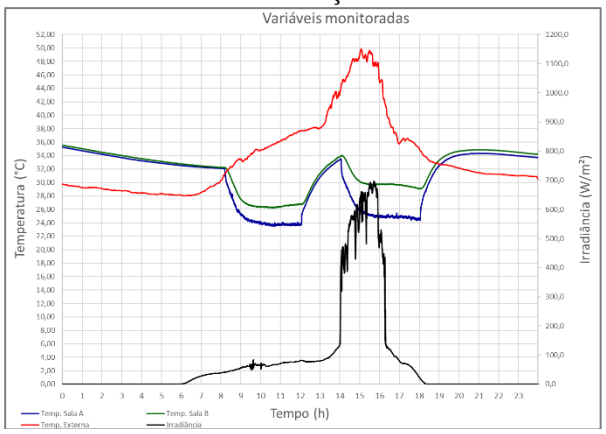
A média de temperatura interna, no período das 8:00 às 18:00 h, do termopar da sala A no dia 12/11/2024 foi de 34,29°C, e a média do termopar da sala B foi de 34,46°C, demonstrando a equivalência entre as salas, evidenciada pelas linhas verde e azul do gráfico. Já a média da temperatura externa foi de 37,40°C, como mostrado pela linha vermelha do gráfico.

A radiação solar média nessa medição foi de 1910,90 Wh/m²/dia, evidenciada pela linha preta do gráfico. Esses dados demonstram uma boa resposta do vidro comum cinza com película quanto a absorção e/ou reflexão de calor, entretanto, não indicam proteção dos raios ultravioletas.

Na medição 2 do ensaio, no dia 13/11/2024, ambas as salas estavam com o mesmo vidro da medição 1. Contudo, a sala A estava com a operação de uma pessoa e com climatização fixa em 24ºC, enquanto a sala B permaneceu sem operação e sem climatização.

Pode-se observar através do Gráfico 1 que houve uma diferença de temperatura captada pelo termopar localizado na sala A, em comparação com o termopar da sala B e temperatura externa.

Gráfico 1 – Dados da medição 2 em 13/11/2024



Fonte: Autores (2025).

A média de temperatura do termopar da sala A, no período das 8:00 às 18:00 h, foi de 27,40°C, do termopar da sala B foi de 29,80°C e a da temperatura externa foi de 37,17°C, quando a sala A estava com climatização e operação e a sala B permaneceu sem climatização e operação.

Foi observada uma redução da temperatura interna de 2,40ºC em relação à

sala B e de 9,77°C em relação a temperatura externa. O consumo médio elétrico de climatização nesta medição foi de 7,24 kWh/dia enquanto a radiação solar foi de 1882,66 Wh/m²/dia.

Entretanto, é importante frisar a influência da parede de gesso, que divide a sala A da sala B, material que conduz troca de calor e influenciou as medições da sala B. Por meio do Gráfico 6 é possível visualizar, através da linha verde, a queda da temperatura da sala B (mesmo a sala em questão sendo sem climatização), em correspondência com a queda da temperatura da sala A (linha azul) uma vez que ambos os termopares estavam fixados, cada um, em cada face interna da mesma parede de gesso.

Na medição 3 de experimento, a média de temperatura interna do termopar da sala A, no período das 8:00 às 18:00 h, com vidro de controle solar foi de 27,18°C, enquanto a média de temperatura da sala B, com vidro sem controle solar foi de 29,84ºC e a média da temperatura externa foi de 37,36°C.

Assim, constata-se que a redução da temperatura em relação à sala B foi de 2,66°C e, em relação à temperatura externa, foi de 10,18°C.

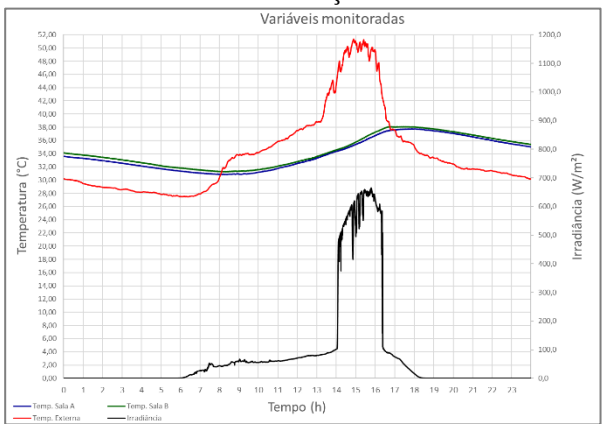
A influência da parede de gesso que divide as salas continuou sendo observada nessa etapa de medições, e é possível avaliar que a redução da temperatura seguiu um padrão similar ao desempenho dos vidros cinza comuns sem controle solar, porém com película.

Entretanto, quando analisados os dados referentes ao consumo energético com climatização e radiação solar, constata-se que a proteção contra raios ultravioletas do vidro cinza refletivo originou a redução no consumo elétrico, pois, enquanto os dados de radiação do dia em questão indicaram 1943,44Wh/m²/dia, o consumo de energia elétrica foi de 6,92 kWh/dia.

Na medição 4, a diferença de temperatura entre as salas é baixa, representando 0,38°C, e em relação à temperatura externa é de 4,23°C, uma vez que a temperatura média desse dia de medição na sala A foi de 33,35°C, na sala B foi de 33,73°C, e na externa foi de 37,58°C, não indicando diferença térmica relevante entre o vidro com controle solar e o vidro peliculado.

O Gráfico 2 expõe os resultados similares de temperaturas entre as salas e a diferença entre a temperatura externa, demonstrado através das linhas azul (sala A), verde (sala B) e vermelha (temperatura externa).

Gráfico 2 – Dados da medição 4 em 23/11/2024



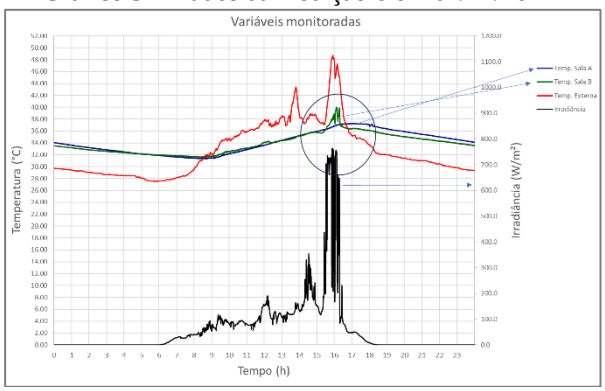
Fonte: Autores (2025).

Na medição 5, foi possível captar a temperatura média, no período das 8:00 às 18:00 h, da sala A de 26,56°C, da sala B de 29,24°C e da temperatura externa de 37,16°C.

Nesse momento, foi possível identificar, além das diferenças térmicas e energéticas e da influência da parede de gesso na medição da temperatura da sala B, um ligeiro maior efeito estufa do vidro com controle solar em relação ao vidro incolor sem controle solar e sem película, entre 19 e 0h.

Na medição 6, foi possível verificar o desempenho superior do vidro cinza com controle solar em relação ao vidro incolor sem controle solar e sem película, em momentos pontuais em que o sol incidia diretamente sobre as janelas, evidenciado entre 15 e 17h, conforme ilustra o gráfico 3.

Gráfico 3 – Dados da medição 6 em 02/12/2024



Fonte: Autores (2025).

A temperatura média entre as salas teve uma diferença baixa, de 0,09°C, entretanto, em relação à temperatura externa, essa diferença foi de 1,44°C. Vale ressaltar que se observa a influência da cobertura da edificação, vizinhança, vegetação existente, sombreamento, localização da sala, materiais condutores térmicos, ventilação e chuva nesses dados de temperatura externa.

Assim, pode-se constatar que, em geral, as medições originaram resultados próximos à equivalência. Entretando, fazendo uma análise a respeito da posição das salas em relação ao sol e à vizinhança, é possível identificar que estes fatores influenciam no desempenho do vidro de controle solar.

Foi constatado também que a área de aplicação de vidro influencia em uma maior ou menor troca de calor. Isso significa que, possivelmente, com uma área de aplicação de vidro de controle solar maior, tanto a temperatura interna quanto o consumo com climatização tendem a ser otimizados.

Sequencialmente, para o cálculo do payback descontado, foi considerado os cenários previamente mencionados e os custos do material e energia da localidade estudada.

O investimento inicial foi determinado pela diferença de custo entre o vidro de controle solar (vidro laminado cinza reflexivo de 8 mm, no valor de R$ 1.595,00) e o vidro comum (vidro float comum incolor de 4 mm, no valor de R$ 440,00).

No que se refere ao ganho financeiro percentual, este foi aplicado sobre o consumo elétrico diário de referência de 7,24 kWh/dia, originado do cálculo da média de climatização da sala A nas medições 2, 3 e 5 dos ensaios experimentais. Em seguida foi adotado o número de dias úteis que uma empresa do regime CLT trabalha normalmente, que são 23 dias.

Em seguida foi calculado o consumo mensal de referência da sala A, multiplicando o valor do consumo diário pela quantidade de dias trabalhados em um mês, resultando em 166,52 kWh/mês.

Para que fosse possível a estimativa do custo de energia elétrica relacionado à climatização dessa sala, foi adotado o valor da tarifa da concessionária local de energia, que custa R$ 1,02 por kWh, já com os devidos impostos incluídos.

Posteriormente, foi calculado o custo mensal multiplicando o valor da energia por kWh pela quantidade de energia estimada que a sala A consome em um mês de utilização, originando o valor de custo mensal de R$170,25, que, quando multiplicado pela quantidade de meses do ano, resulta em R$ 2.043,40 ao ano.

A Tabela 2 expõe os resultados do payback descontado obtidos na análise de sensibilidade.

Tabela 2 – Payback descontado

Ganho (%)	**i = 6% a.a**	**i = 12% a.a**	**i = 15% a.a**
10	7,122	10,01	13,49
20	3,194	3,67	3,95
30	2,061	2,27	2,39
40	1,52	1,65	1,71
50	1,21	1,30	1,34
60	0,99	1,06	1,09

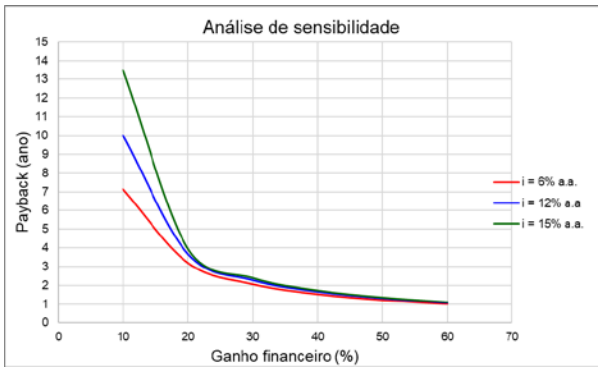
Fonte: Autores (2025)

Assim, é possível constatar que, no pior cenário, ainda assim o investimento é viável, pois o retorno financeiro aconteceria por volta de 13 anos a partir do investimento inicial, com uma taxa de juros15% a.a.

Já em uma simulação mais otimista, considerando um ganho de 30% e taxa de juros de 12% a.a., é possível constatar que o retorno do investimento aconteceria em 2,27 anos a partir da aplicação do material.

O Gráfico 4 expõe os resultados da Tabela 2, sendo possível observar que, a partir do primeiro ano de uso do material, em qualquer simulação, o vidro de controle solar, ao proporcionar a redução no consumo elétrico e gerar economia de energia, se pagaria.

Gráfico 4 – Variação do payback para diferentes cenários



Fonte: Autores (2025).

Assim, é possível identificar que, independentemente da simulação realizada, o vidro de controle solar reduz o consumo elétrico desde o primeiro ano de uso. Essa economia de energia gera um retorno financeiro que permite a amortização do custo inicial do material já no primeiro ano de operação.

5. Conclusão

Este estudo evidenciou os benefícios da utilização do vidro de controle solar em uma região climática amazônica, destacando sua eficiência na redução do consumo energético e na melhoria do conforto térmico dos ambientes.

As análises demonstraram que o vidro incolor sem controle solar não é a opção mais adequada para edificações termicamente confortáveis e sustentáveis, pois permite a entrada excessiva de calor, aumentando a necessidade de climatização artificial.

Em contrapartida, o vidro com controle solar mostrou-se mais eficaz na minimização das cargas térmicas provenientes da radiação solar direta, reduzindo a dependência de sistemas de climatização.

Esse impacto positivo reflete não apenas na economia de energia e financeira para os consumidores, mas também na diminuição das emissões de carbono associadas ao uso de ar-condicionado, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Dessa forma, a adoção de vidros de controle solar se apresenta como uma solução eficiente e viável para construções em condições climáticas da Amazônia pois proporciona benefícios que podem variar de curto, médio e longo prazo, tanto em termos econômicos quanto para o bem-estar e qualidade de vida dos ocupantes das edificações.

Vale destacar igualmente que foi constatado que o uso do vidro de controle solar deve ser estratégico, sendo levado em consideração o local da edificação, materiais envolvidos na construção do imóvel, quantidade e posição das aberturas dos vãos e combinação com técnicas de ventilação e demais materiais que proporcionam uma menor troca de calor do meio interno em relação ao externo.

6. Referências

[1] SILVA, B. C. G. da; ZANONI, R. D.; BOMFIM, V. V. B. da S.; BEHRENS, P. de A. C.; REGUFE, M. M. V.; ARAÚJO, P. da C.; MARTINEZ, M. G. D.; COSTA, A. C. M. de S. F. da; VIEIRA, R. da S.; TREPTOW, L. M.; SILVA, A. S. G. da. *Skin cancer and the dangers of UV rays.* Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e135111133557, 2022. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33557. Acesso em 02 de agosto de 2024.

[2] INMET. Instituto Nacional de Metereologia. *Gráficos climatológicos.* Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377. Acesso em 02 de agosto de 2024.

[3] ADNORMAS. *A classificação dos vidros revestidos para controle solar.* 2020. Disponível em: https://www.revistaadnormas.com/2020/02/25/a-classificacao-dos-vidros-revestidos-para-controle-solar. Acesso em 04 de junho de 2024.

[4] FARIAS, L. M.; MARINHO, J. L. A. *Construções sustentáveis: Perspectivas sobre práticas utilizadas na construção civil/Sustainable buildings: Perspectives on practices used in civil construction.* 2020. Brazilian Journal of Development, 6(3), 16023–16033. https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-466

[5] ANELLI, Renato L. S. *As cidades e o aquecimento global: desafios para o planejamento urbano, as engenharias e as ciências sociais e básicas.* Journal of Urban Tecnology and sustentability. v. 3 n. 1 (2020): janeiro-dezembro. https://journaluts.emnuvens.com.br/journaluts/article/view/17

[6] GAUDÊNCIO, J. R. da C. *Smart City: Desenvolvimento Sustentável, Sociedade de Controle e Cidade Inteligente.* Dissertação (Mestrado) - Curso de Comunicação e Semiótica, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC/SP, São Paulo, 2015. Disponível em: https://sapientia.pucsp.br/handle/handle/4728. Acesso em 15 de outubro de 2024.

[7] KONZEN, B. A. D. V., PEREIRA, A. F. *O impacto ambiental do aproveitamento de resíduos no setor da construção civil: revisão bibliográfica sob a visão do ciclo de vida.* Encontro nacional de aproveitamento de resíduos na construção, 7(1), 451–461. 2023.

[8] ABM. Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. *Conheça a evolução do desenvolvimento de materiais e sua relação com a sustentabilidade.* 2023. Disponível em: https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/conheca-a-evolucao-do-desenvolvimento-de-materiais-e-sua-relacao-com-a-sustentabilidade. Acesso em 03 de junho de 2024.

[9] MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S.; SANTOS, M. S. dos; ALFAIA, V. M. de *Efeito de condições meteorológicas em doenças respiratórias em capitais de diferentes dimensões no Norte e Nordeste do Brasil.* Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 86–100, 2019. DOI: 10.21680/2447-3359.2019v5n1ID17397. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/17397. Acesso em: 20 de junho de 2024.

[10] DE PAULA, B. T.; ALMEIDA, F. M. de; ARAÚJO, J. M. de; PIZZOL, J. S. T. *Desenvolvimento socioeconômico municipal: um estudo da região Norte do Brasil.* Interações (Campo Grande). [S. l.], v. 25, n. 2, p. e2523814, 2024. DOI: 10.20435/inter.v25i2.3814. Disponível em: https://multitemasucdb.emnuvens.com.br/interacoes/article/view/3814. Acesso em: 12 agosto de 2024.

[11] SIMPLE. *Região norte tem a tarifa mais cara do Brasil.* 2023. Disponível em: https://simpleenergy.com.br/regiao-norte-tem-a-tarifa-mais-cara-do-brasil/#:~:text=A%20regi%C3%A3o%20Norte%2C%20que%20concentra,638%2C00%2FMWh). Acesso em 06 de junho de 2024.

[12] EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Painel de Dados de Micro e Minigeração Distribuída.* 2023. Disponível em: https://dashboard.epe.gov.br/apps/pdgd/. Acesso em 12 de agosto de 2024.

[13] STOUHI, D. *Como projetar para atingir conforto térmico e porque isso é importante*. 2019. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/910400/

como-projetar-para-atingir-conforto-termico-e-por-que-isso-e-importante. Acesso em 06 de junho de 2024.

[14] NAÇÕES UNIDAS BRASIL. *Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.* 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7. Acesso em 01 de agosto de 2024.

[15] BRAZILGLASS. *Vidros Low-e.* 2023. Disponível em: https://brazilglass.com.br/vidros-low-e-eficiencia-energetica-e-conforto-termico/. Acesso em: 03 de junho de 2024.

[16] CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia dos materiais: Uma introdução.* 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

[17] ARCHGLASS. *Guia dos vidros na construção civil.* 2024. Disponível em: https://archglassbrasil.com.br/artigos/guia-dos-vidros-na-construcao-civil/. Acesso em 05 de junho de 2024.

[18] TOZZO, M. *Os tipos de vidros mais utilizados na construção civil.* 2023. Disponível em: https://blog.websitego.com.br/tipos-de-vidros-mais-utilizados-na-construcao-civil/. Acesso em 05 de junho de 2024.

[19] ABIVIDRO. Associação Brasileira das Indústrias de Vidros. *Manual técnico do vidro plano para edificações.* São Paulo, 2020.

[20] GUARDIANGLASS. *Literatura técnica.* 2024. Disponível em: https://www.guardianglass.com/la/pt/tools-and-resources/resources/technical-literature. Acesso em 10 de junho de 2024.

[21] IEE/USP. Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. *Quais são as principais vantagens em investir em eficiência energética.* 2024. Disponível em: https://www.iee.usp.br/noticia/quais-sao-as-principais-vantagens-em-investir-em-eficiencia-energetica/. Acesso em 06 de outubro de 2024.

[22] MALLMANN, B. M.; WARTCHOW, D.; TORRES, M. C. A. *Análise computacional do impacto da iluminação e dos vidros na demanda energética de um edifício comercial.* 2011. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[23] CORNETET, M. C. *Recomendações para especificações de vidros em edificações comerciais na região climática de Porto Alegre - RS.* Dissertação (Mestrado em engenharia civil, área de concentração em conforto ambiental). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS, 2009.

[24] ZAGO, A. C.; MELLER, B. J.; WESTPHAL, F. S. *Influência da absorção de vidros de controle solar no consumo de energia para climatização de um edifício de escritórios*. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 2022.

[25] ESCHENBACH, T. *Engineering Economy: Applying Theory to Practice.* Third edition. Oxford University Press: New York, 2011.

[26] M.T.E. Ministério do Trabalho e Emprego. *NR 15 – Atividades e Operações Insalubres.* Brasília: 2014. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-anexo-03.pdf. Acesso em 9 de novembro de 2024.

Revista Boletim do Gerenciamento

www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Revisão sistemática da literatura dos métodos de valorização de resíduos fotovoltaicos

Systematic literature review of photovoltaic waste value methods

OLIVEIRA, Natalia de Souza Barbosa[1]; DA COSTA, Bruno Barzellay Ferreira[2]; PINTO, Augusto Eduardo Miranda[3]

nsbo1902@gmail.com[1]; bruno.barzellay@macae.ufrj.br[2]; augustoepinto@gmail.com[3].

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Macaé, Rio de Janeiro.
[2] Instituto Politécnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, Rio de Janeiro.
[3] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Macaé, Rio de Janeiro.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Descarte;
Fotovoltaico;
Reciclagem;
Reutilização.

Keywords:
Disposal;
Photovoltaic;
Recycling;
Reuse.

Resumo:

O sistema fotovoltaico se tornou um elemento fundamental do desenvolvimento sustentável, sendo um oportuno substituto aos modelos fósseis tradicionais. No entanto, o crescimento exponencial deste sistema eleva o risco de descarte inadequado dos seus resíduos que, atualmente, em sua maioria, são descartados indevidamente em aterros, o que pode gerar danos ao meio-ambiente e à saúde humana, além do desperdício de materiais escassos e com valor financeiro agregado. Isto evidencia uma escassez de tecnologias em escala comercial para tratar especificamente este material, de legislações e de pesquisas acadêmicas. Assim, o objetivo deste estudo é desenvolver uma revisão sistemática de literatura por meio do protocolo Prisma Sc-R, acompanhada de uma análise bibliométrica para identificar, entre outros, os autores e as instituições mais relevantes neste campo de conhecimento. Além disso, foi realizada a análise das principais técnicas de reciclagem e de reutilização das placas fotovoltaicas, o que resultou em um resumo acompanhado de um diagrama com sugestões de técnicas e de materiais recuperados em cada etapa do processo. Ao final, apresentam-se propostas de melhorias sobre o tema, o que envolve desde a utilização de materiais com maior facilidade de recuperação até o desenvolvimento de novas pesquisas e de incentivo governamental e legislativo.

Abstract

The photovoltaic system has become a fundamental element of sustainable development, being an opportune replacement for traditional fossil models. However, the exponential growth of this system increases the risk of inadequate disposal of its waste, which is currently mostly disposed of improperly in landfills, which can cause damage to the environment and human health, in addition to waste of materials. scarce and with added financial value. This highlights a lack of commercial-scale technologies to specifically treat this material, legislation and academic research. Thus, the objective of this study is to develop a systematic literature review using the Prisma Sc-R protocol, accompanied by a bibliometric analysis to identify, among others, the

most relevant authors and institutions in this field of knowledge. Furthermore, an analysis of the main recycling and reuse techniques for photovoltaic panels was carried out, which resulted in a summary accompanied by a diagram with suggestions for techniques and materials recovered at each stage of the process. At the end, proposals for improvements on the topic are presented, which range from the use of materials that are more easily recovered to the development of new research and government and legislative incentives.

1. Introdução

A geração e o consumo de energia é um tópico desafiador no contexto mundial, por ser um elemento imprescindível para o crescimento, mas que deve estar em consonância com o meio-ambiente [1]. Assim, o sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica tem sido considerado um elemento fundamental para o desenvolvimento sustentável [2], uma vez que vincula vantagens econômicas e técnicas (como a escalabilidade e a acessibilidade) [3] ao benefício ambiental – é uma fonte renovável de energia [4].

Estas razões contribuíram para a popularização deste sistema, cuja vida útil gira em torno de 25 a 30 anos [5,6], devendo ocasionar um grande volume de resíduos nas próximas décadas que precisarão ser corretamente tratados para que o sistema fotovoltaico mantenha a sustentabilidade [7]. A destinação inadequada destes resíduos pode gerar perdas de elementos raros ou escassos na natureza [8,9], além de causar exposição dos seres vivos a substâncias e elementos químicos perigosos [10]. Atualmente, a maioria dos resíduos fotovoltaicos são destinados para aterros [11], com pouca legislação vigente sobre o assunto [12].

Diante disto, este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura visando compreender o cenário de pesquisas sobre o tema, identificando as principais metodologias de destinação destes materiais após a vida útil (principalmente a reciclagem, a reutilização e a recuperação), verificando os parâmetros ambientais, técnicos e econômicos.

Por meio desta revisão, busca-se fornecer uma visão geral dos avanços em relação a reutilização e a reciclagem das placas fotovoltaicas, de forma sintetizada, para contribuir na resolução do desafio do descarte adequado dos resíduos fotovoltaicos.

2. Metodologia

Este trabalho trata-se de uma revisão sistemática – método de investigação científica que busca analisar estudos primários sobre determinada temática, utilizando fontes de dados da literatura [13], sendo um recurso que amplia o potencial de busca, agregando de forma organizada uma quantidade considerável de resultados sobre um tema [14].

Por ser um método de investigação que reúne as informações das pesquisas mais atuais, é uma metodologia fundamental para a elaboração do estado da arte e concentrar de forma objetiva as principais e mais recentes informações sobre esta temática auxiliando a realização de pesquisas futuras.

Buscou-se apresentar as mais modernas pesquisas sobre as técnicas de recuperação, reciclagem e descarte das placas fotovoltaicas após a vida útil, analisando o viés econômico de aplicabilidade destas tecnologias.

O processo de pesquisa foi seccionado em quatro etapas: identificação da questão de investigação, busca por estudos pertinentes, seleção dos artigos e análise do estado da arte. A questão norteadora foi sobre as técnicas do processo de reciclagem do sistema fotovoltaico após o fim da vida útil. O procedimento de busca e seleção dos estudos seguiu as recomendações do protocolo

PRISMA-ScR 2020, com o objetivo de auxiliar o pesquisador no planejamento e condução da revisão sistemática de garantindo que todas as informações necessárias sejam contempladas, que novas pesquisas possam ser acrescentadas e que outros cientistas possam replicar o processo de busca [15].

O rastreio dos artigos foi realizado em dezembro de 2023 e validado em março de 2024 (para identificar novas publicações que não foram abordadas na primeira busca) por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no qual foi consultado o acervo das bases de dados Scopus e Capes.

A base de dados Scopus - foi escolhida por conter amplo conteúdo sobre a visão científica das energias renováveis no setor industrial e da utilização de materiais de terceira geração na produção de energia [16]- e CAPES, foi selecionada por ser referência em pesquisa no Brasil, com artigos qualificados no âmbito nacional e no exterior, auxiliando na compreensão do tema no país [17].

Para a seleção dos artigos, foram utilizadas as palavras-chaves "*photovoltaic*", "*residue*" e "*recycling*" e o recorte temporal de 2019 a 2024 (período com maior concentração de pesquisas e com informações mais atualizadas sobre o tema), conforme indicado no quadro 1.

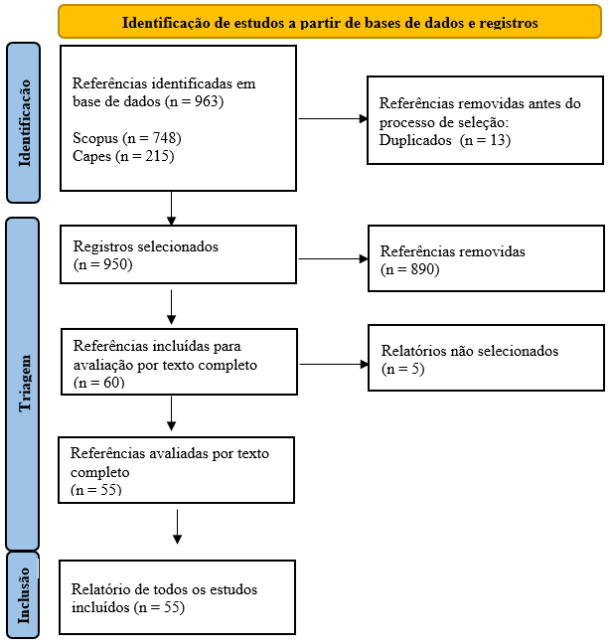
Quadro 1 – Critérios para a seleção dos artigos

Questão norteadora	**Base de dados**	**Palavras-chave**	**Recorte temporal**
Como reciclar tecnicamente os resíduos fotovoltaicos após a vida útil?	Scopus	*"photovoltaic" and "residue" and "recycling"*	2019 - 2024
	Capes	*photovoltaic" and "residue" and "recycling"*	2019 - 2024

Fonte: Próprio autor

Os critérios de inclusão adotados para a seleção foram os artigos e as revisões disponíveis no formato eletrônico, de acesso livre ou permitido pelo periódico capes, nos idiomas português, inglês e espanhol. Os artigos irrelevantes e a versão duplicada dos artigos presentes em ambas as bases foram excluídos. O processo de seleção dos artigos pelo protocolo PRISMA-ScR 2020 é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Protocolo PRISMA



Fonte: Adaptado de Page et al. (2020) [18]

Os artigos foram escolhidos após a leitura dos títulos e dos resumos, desconsiderando aqueles que apesar de satisfazerem as palavras-chaves abordavam o tema de forma ampla, selecionando aqueles que explicavam sobre alguma técnica de reutilização ou de reciclagem das placas fotovoltaicas.

Os 55 trabalhos resultantes da análise foram agrupados em categorias temáticas buscando responder à questão norteadora da pesquisa: quais as principais técnicas atuais da reciclagem das placas fotovoltaicas? Além disso, procurou-se compreender a viabilidade econômica e a aplicabilidade dos resíduos gerados em outras fontes de energia.

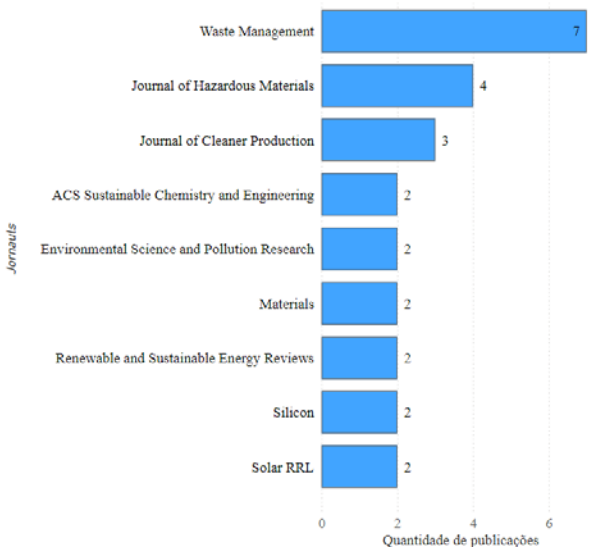
3. Análise bibliométrica

Após a seleção dos 55 artigos científicos, sendo 53 da base *scopus* e 2 da base capes, foi realizada a bibliometria deste material, por meio do software *VosViewer*, com apoio gráfico do *Power BI* para maior compreensão das informações.

3.1 *Journals* mais relevantes

Os artigos selecionados foram publicados por 38 *journals* distintos, com uma média de 1,45 publicações por *journal*, revelando uma variedade de fontes. Ao todo, 9 revistas apresentaram mais de uma publicação, sendo as fontes com maior quantidade de publicações: '*Waste Management*' com 7 publicações, '*Journal of Hazardous Materials*' com 4 publicações e '*Journal of Cleaner Production*' com 3 publicações.

Figura 2 – *Journals* com mais publicações sobre o tema



Fonte: Próprio autor

3.2 Autores mais relevantes

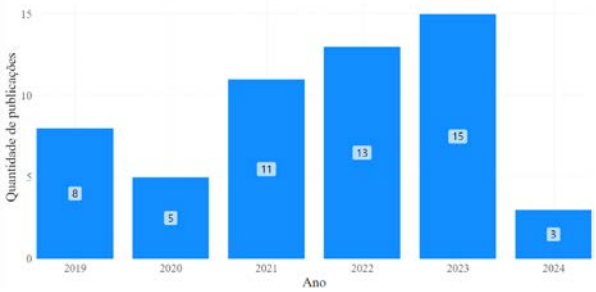
Os artigos selecionados foram publicados por 227 autores distintos, sendo apenas 6 artigos de autoria única e em média existem 4,13 coautores por documento. Dos 227 autores, 14 tiveram pelo menos 2 publicações e 5 foram responsáveis por no mínimo 3 materiais acadêmicos, sendo os mais relevantes para a pesquisa: Wenhui Ma (o autor com mais publicações, 4), Shaoyuan Li e Rong Deng (o autor com mais citações, 305). Dos 5 autores mais relevantes, 3 tiveram publicações conjuntas entre si e os outros 2 também elaboração de material juntos.

Em relação às citações, Rong Deng foi o autor com o maior número de citações, 305; seguido por Nathan Chang, Chee Mun Chong e Zi Ouyang (ambos com 257 citações). Em relação ao 'total *link strength*' (que demonstra o grau de correlação entre os pesquisadores), os autores mais relevantes foram: Wenhui Ma (27 conexões), Shaoyuan Li (22 ligações) e Rong Deng (18 conexões).

Dessa forma, considerando os três parâmetros: quantidade de publicações, de citações e de conexões, 23 autores foram considerados os mais relevantes, conforme o apêndice B indica: as linhas demostram as conexões entre os autores (pesquisas publicadas em conjunto).

O quantitativo de publicações obteve uma taxa média de 15,03% ao ano (desconsiderada a variação entre 2023 e 2024 por conta da vigência do ano atual – apesar da pesquisa ter sido realizada em 2023, foram encontrados artigos publicados com o ano de 2024) revelando uma tendência cada vez maior de conteúdo acadêmico relacionado a este tema.

Figura 3 – Quantidade de artigos por ano de publicação

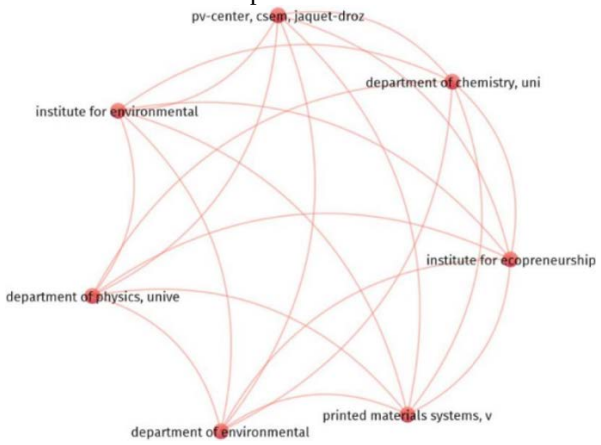


Fonte: Próprio autor

3.3 Instituições mais relevantes

O material selecionado composto por 55 artigos foi elaborado por 117 organizações distintas, sendo que 15 instituições produziram pelo menos 2 artigos, e destas 7 apresentaram conexões (publicaram em parcerias pelo menos 1 material acadêmico), conforme indica a Figura 4.

Figura 4 – Relações entre as instituições mais prolíficas



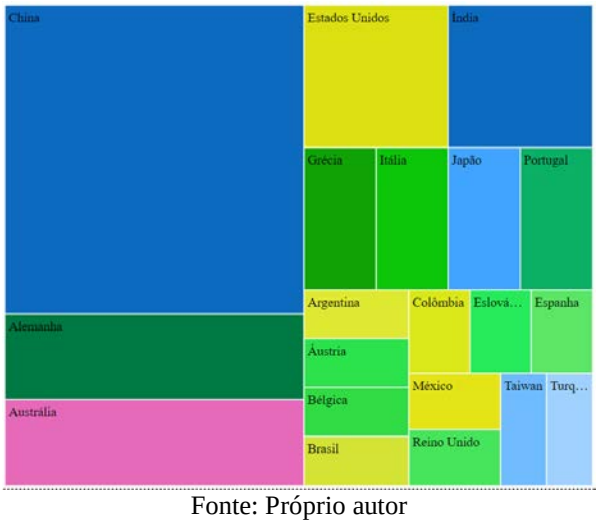
Fonte: Próprio autor

3.4 Países mais relevantes

Os artigos selecionados foram produzidos por 20 países, sendo que 9 elaboraram ao menos 2 artigos, 5 nações foram responsáveis por pelo menos 4 materiais científicos, caso da China com 18 artigos (a maior exportadora de material acadêmico – mais de 32% do conteúdo analisado), seguidos da Austrália e da Índia com 5 publicações cada.

A análise realizada no Power BI por meio de um *treemap* - quanto maior o retângulo pertencente àquela nação, maior a quantidade de materiais publicados por aquele país – demonstra a predominância do continente asiático (nos tons de azul), seguindo da Europa (tons de verde), do continente americano (tons de amarelo) e a Oceania (em rosa), conforme figura 5.

Figura 5 – Países com mais publicações



Fonte: Próprio autor

O Brasil possui apenas 1 publicação e juntamente com os Estados Unidos (o país do continente americano com mais publicações – 4), com a Argentina, a Colômbia e o México foram responsáveis pelas 8 publicações do continente americano. O destaque ficou para o continente asiático com 26 artigos (incluindo a Turquia que pertence a dois continentes), seguido pela Europa com 16 materiais desenvolvidos, o que pode ser visualizado na Figura 5. A Oceania produziu 5 artigos, enquanto o Oriente Médio e o continente africano não tiveram participações, considerando as publicações selecionadas para esta pesquisa. Além disso, 5 países da Europa e 2 nações asiáticas tiveram publicações correlatas, conforme apêndice B.

3.5 Palavras-chave mais utilizadas

A seleção de 55 artigos contém ao todo 932 palavras-chaves, destas 198 aparecem em pelo menos 2 artigos, 95 constam em no mínimo 3 publicações, 48 estão presentes em pelo menos 4 artigos e 32 estão em no mínimo 5 artigos diferentes, termos apresentados no apêndice C.

Por meio da figura 6, é possível verificar que as palavras mais recorrentes foram: "*recycling*" em 29 publicações diferentes (mais de 50% do material selecionado), "*silicon*" com 19 ocorrências e "*photovoltaic cells*", em 14 publicações distintas. Estas palavras eram esperadas pois faziam parte das palavras-chaves pesquisadas originalmente nas bases de dados.

Nesta mesma análise foi possível verificar a presença de quatro clusters, indicando palavras com maior proximidade – geralmente presentes na mesma publicação. A rede de palavras também indica a quantidade de vezes que foram utilizadas simultaneamente: quanto maior o número de linhas entre elas, maior a frequência com que foram utilizadas simultaneamente; como, a palavra "*recycling*" que é a mais recorrente está relacionada com todas as outras 31 palavras mais recorrentes, conforme indica o apêndice D.

4. Importância do descarte correto de resíduos fotovoltaicos

A tendência de crescimento de resíduos fotovoltaicos representa um grande impacto econômico por conta da presença de metais raros e de ampla aplicação como silício, que precisam ser corretamente destinados para que não gerem transtornos ambientais e sociais, especialmente à saúde das pessoas [19].

Com a ausência de tecnologias sobre o descarte correto destes resíduos, a maior parte deste material têm sido alocado em aterros sanitários [20,21] - junto a dejetos domésticos; causando perda de recursos consideráveis e danos ambientais ao solo e ao ar [12,22,23] com a lixiviação de substâncias perigosas [24] - ou incinerados com pouco controle da eliminação dos gases, lançando na atmosfera gases tóxicos e nocivos [2].

O descarte incorreto em aterros gera uma série de impactos ambientais, como a erosão e a contaminação do solo e do lençol freático com materiais poluentes [24] (metais pesados e substâncias orgânicas) [25], além de afetar a flora e a fauna [26]. Ademais, a recuperação de metais raros e de alto valor agregado reduz a necessidade de extração destes materiais, o que é um benefício ambiental [28].

O resíduo eletrônico confere certo risco à saúde humana [23] e a presença de elementos tóxicos como o cádmio e o chumbo nas placas fotovoltaicas [29] também deve ser considerado. Alguns pesquisadores alertaram sobre o risco à saúde humana [7] [29], pois o descarte irregular de alguns metais pode gerar danos cerebrais, renais, pulmonares e dermatológicos [27].

Conjuntamente, a reciclagem das placas fotovoltaicas, concede vantagens econômicas: o sistema é composto por metais com alto valor agregado, como o silício, que pode ser reutilizado em outras aplicações como em ligas de metais e aplicações eletrônicas; e por materiais que possuem reciclagem e reutilização convencionais (alumínio, por exemplo) [4]. À vista disto, este processo garante valor de mercado a materiais que até então seriam descartados em aterros, e por outro lado, reduz os custos na produção do sistema fotovoltaico, uma vez que estes materiais possuem custo menor que os materiais virgens [23].

Sob este aspecto financeiro, Fiandra et al. [23] realizaram dois comparativos principais: o valor agregado do material virgem comparado ao do material reutilizado/reciclado, e o custo para recuperar este material com o valor que possui no mercado – a pesquisa indicou que a reutilização pode trazer aumento de receita para empresas do setor [23].

Deste modo, um sistema de gestão que compreenda todas as etapas do processo de descarte dos resíduos é fundamental para compreender os impactos que este processo pode ter à saúde e ao meio ambiente [24].

5. Principais técnicas de reciclagem, reutilização e recuperação dos resíduos fotovoltaicos

Para facilitar a compreensão das técnicas analisadas na revisão da literatura, optou-se por separar os processos, por partes da estrutura, apresentando os principais métodos sugeridos (que podem ser aplicados de forma conjunta ou individualmente) e os materiais recuperados; conforme descrito no Apêndice E.

5.1 Retirada da armação de fixação e *framework*

O primeiro procedimento para a destinação correta dos resíduos fotovoltaicos é a retirada da armação de fixação e estrutura externa que envolve as placas fotovoltaicas [2,12], formada pelas esquadrias de alumínio e caixas de junção [24], também conhecida como *framework*.

O método mais comum é a remoção manual [23], porém, Guo et al. [4] comentam sobre o emprego de um sistema automático de desmontagem para a remoção de estruturas e cabos de alumínios em painéis fotovoltaicos, o que aumenta a eficiência e qualidade da operação, bem como reduz os custos. Em

outra pesquisa, Ramos et al. [30] citam a utilização de uma máquina de corte para separar a célula de silício coberta com vidro da armação de alumínio e conectores antes do processo de pirólise para a recuperação de metais.

O alumínio corresponde em torno de 10% do peso da placa fotovoltaica [2] possui alto valor agregado na reciclagem [2] e é um material convencional [23] que possui técnicas simples de reutilização. Inclusive, Deng et al. [12] abordam sobre a recuperação do alumínio e do vidro em um procedimento mais acessível e de baixo custo – uma abordagem *downcycling* – em que o vidro e o alumínio não voltariam necessariamente ao sistema fotovoltaico, mas poderia ter outras aplicações com menor valor agregado. Li et al. [32] apresentam a aplicação do alumínio reciclado em ligas de silício-alumínio.

5.2 Recuperação do vidro

Além do alumínio, o outro material de reciclagem convencional e com grande valor agregado é o vidro [23,25], responsável por 75% do peso da placa fotovoltaica [7,33] e que pode ser recuperado por processos mecânicos e/ou térmicos [23].

Gahlot et al. [34] realizaram a remoção da camada mais externa do vidro com a imersão da placa em água quente a 80ºC, enfraquecendo a ligação entre a camada de EVA e a folha de vidro facilitando a remoção do vidro temperado por meio do descamamento manual.

Dobra et al. [35] utiliza um método térmico para a retirada da folha de vidro do encapsulante; onde a placa sem o *framework* é colocada em uma bandeja de cerâmica no forno mufla por 10 minutos a uma temperatura constante de 170ºC, reduzindo a rigidez da folha de vidro que pode ser removida manualmente com uma pinça, obtendo um material que pode ser utilizado como matéria-prima secundária. Porém, para a geração de um vidro plano com alta qualidade é necessário remover os polímeros agregados ao vidro, que este material fica encapsulado ao EVA [2,4]. Por isto é realizado um tratamento de delaminação térmica para a remoção praticamente completa dos polímeros e a possibilidade de separação manual de vidro e células [35]. Este tratamento térmico também é indicado por Sasai et al. [36] para a retirada de fuligem, através do derretimento da placa, seguido de uma reação de oxidação no reator.

Uma outra possibilidade apresentada por Deng et al. [12] é a trituração da peça por meio de motor de dois rotores seguido de fresagem com martelo e do processo hidrotérmico para separar o vidro do EVA, com a vantagem da utilização do método de corte quente com faca em alta frequência, que separa o vidro em uma única etapa.

Em relação à aplicação do material reciclado, Ramos et al. [30] cita o alto potencial de reciclabilidade do vidro, em torno de 80%, por meios de processos físicos, sendo um dos itens da placa fotovoltaica com maior taxa de recuperação. Zhao et al. [22], Zhao et al. [20] e Macalová et al. [37] abordam uma aplicação do pó de vidro fotovoltaico – que é extremamente difícil de degradar - em um material ligante aplicado em cimento, com melhor desempenho e menor consumo de energia, que quando comparado ao cimento tradicional – o que garante retorno financeiro considerável. Outras aplicações com os resíduos de vidros fotovoltaicos são: a confecção de vidros inorgânicos com resíduos de vidros fotovoltaicos [38] e a fabricação de cerâmicas [33].

5.3 Degradação do EVA

Após a retirada da estrutura de alumínio e da folha de vidro, o próximo passo é a remoção do EVA para acessar os metais presentes na placa fotovoltaica [2]. Para remover o encapsulamento, várias pesquisas indicam a pirólise - tratamento termoquímico que utiliza substâncias químicas a altas temperaturas para a degradação de determinado material – para a retirada do etileno-vinil-acetato (EVA) [24].

Tao et al. [41] , Mishra et al. [27] e Deng et al. [12] apresentam a pirólise como uma tecnologia de separação de substâncias

orgânicas que pode ser utilizada para a desagregação do EVA das placas que o método convencional de solvente orgânico possui um longo tempo de reação, baixa eficiência da remoção e gera um líquido residual que requer tratamento específico [41] – Mishra et al. [27] realiza esse processo por meio da inserção das placas fotovoltaicas no vácuo e em um reator de leito fluidizado ou em forno para a obtenção de 100% do vidro e 80% do silício; enquanto Deng et al. [12] aborda a utilização da pirólise com ácido acético, propano, propeno, etano, metano e outros óleos e gases combustíveis para a remoção do encapsulamento de EVA.

Wang et al. [39] apresentam a pirólise a alta temperatura como uma solução, apontando também a corrosão por ácido fluorídrico para a retirada das impurezas orgânicas e metálicas agregadas às partículas do silício. Com o mesmo objetivo do artigo anterior, Li et al. [8] apontam a decomposição térmica e o inchamento químico como uma alternativa para a remoção do EVA e assim, conseguir separar o vidro e as células de silício; porém, este procedimento tem custo elevado e utiliza solventes orgânicos (como tolueno e hexano) que resultam em resíduos com alta toxidade. Hossain et al. [2] propõe dissolução das camadas de EVA em solução com ácido nítrico e solventes orgânicos e destaca, que de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA) o tratamento químico e térmico da remoção do EVA nas placas fotovoltaicas é mais eficiente do que os procedimentos mecânicos e salienta que os resíduos provenientes do processo podem ser utilizados como fonte de combustível.

Schmidt et. al [40] sugere um pré-tratamento mecânico com a quebra das moléculas de vidro, seguido da imersão do material em água quente para a dissolução imediata de vários sais inorgânicos e orgânicos que são altamente solúveis em água, sendo assim, possível realizar a separação de resíduos de plástico ou vidro do EVA.

Esta etapa do processo de tratamento dos resíduos fotovoltaicos é a mais complexa: apresenta um custo elevado e utiliza solventes orgânicos (como tolueno e hexano) que resultam em resíduos com alta toxidade [8]. Por isso, Vinayagamoorthi et al. [7] sugere a vaporização do EVA em um forno a 400ºC com a concentração de oxigênio no forno a no máximo 3% por 20 minutos, o que reduz consideravelmente a presença de material particulado ao final do processo.

5.4 Recuperação dos metais

Os metais, como a prata, o alumínio, o cobre, o chumbo e o estanho [11,41] representam cerca de 22% da composição das placas fotovoltaicas [4], inclusive pesquisas patenteadas pela IEA apontam que as maiores taxas de recuperação de materiais neste sistema estão relacionadas aos metais, principalmente cobre, prata e alumínio [5], que são os materiais recicláveis comumente presentes nas placas [8]. Por outro lado, o sistema também conta com a presença de metais pesados como cádmio e estanho [7,23] e raros como índio, gálio, germano e selênio [9,12,27].

A lixiviação com ácidos é uma importante técnica para a remoção de impurezas dos particulados de resíduos fotovoltaicos como o carbono e o oxigênio [32]. No caso, da purificação do silício proveniente dos resíduos fotovoltaicos, três artigos abordaram a lixiviação como alternativa. Li et al. [32] sugerem uma combinação de ácidos mistos na lixiviação capaz de garantir um silício com 97% de pureza, enquanto Wang et al. [42] apresentam a lixiviação (com ácido sulfúrico) com a combinação da técnica de fundição de lingote por indução de ‘bola’ para a remoção de impurezas resultando em um silício com 99,99% de pureza e Guo et al. [43] recomendam a utilização de uma mistura de 5% de ácido fluorídrico e 8% de ácido nítrico para a remoção das impurezas como o ferro e o óxido de ferro, que após uma lixiviação assistida por ultrassom é capaz de garantir um silício com até 97% de pureza.

A lixiviação também é sugerida para o tratamento de outros metais: Zhang et al. [44] realizam um experimento com a lixiviação do

gálio por meio de CFCs na temperatura de 300ºC e 8,8 Mpa com um resultado eficiente de 81%; Modrzynski et al. [11] abordam a lixiviação com ácido sulfúrico acompanhada da eletroextração para a obtenção de prata com pureza entre 88% e 99%; Prasar et al. [29] propõem o tratamento térmico seguido de lixiviação com HNO para a recuperação do chumbo na forma menos tóxica.

Para atingir esta alta taxa de purificação as impurezas são enriquecidas na forma de óxidos, para então serem coletas e removidas na lixiviação ácida. No entanto, a principal desvantagem é que o excremento produzido durante a lixiviação pode ser potencialmente danoso ao meio ambiente [32]. Além disso, há a dificuldade de ampliar a técnica de lixiviação com ácidos em escala industrial, por conta de grande quantidade de produtos químicos necessários para a realização do processo [23].

A separação eletrostática é uma tecnologia utilizada em outros tratamentos de resíduos, por ser de baixo custo e discriminar os elementos conforme as diferentes propriedades elétricas [8]. Assim, a britagem mecânica (que pode ser feita por esmagamento de pulso de alta pressão ou fragmentação de alta pressão ou, com a utilização de um martelo / britador) seguida da separação eletrostática para a recuperação especialmente de silício é uma opção [8]. Neste caso, o resíduo fotovoltaico após passar pela fragmentação de alta pressão e lavagem ácida e fluorescência de raios é então separado eletrostaticamente.

Outro processo que também envolve a britagem mecânica é realizado após a trituração da placa [30]. Este material é submetido à tratamento térmico em um forno elétrico isotérmico seguido de calcinação em corrente de nitrogênio. Com este processo pirometalúrgico é possível recuperar as partículas de prata da placa fotovoltaica. A britagem mecânica também é indicada por para a recuperação de chumbo com alta pureza (maior que 95%) [40].

A irradiação de micro-ondas é uma técnica utilizada para potencializar a eficiência da lixiviação na recuperação de outros metais, por ter um aquecimento mais rápido que a lixiviação sob pressão ou cuba convencional [40] e apesar de encarecer consideravelmente o processo, podem ampliar a eficiência e reduzir o tempo de reação da técnica da pirólise para a remoção do EVA [34]. Xanthopoulos et al. [45] sugerem a irradiação micro-ondas para a recuperação do cobre, zinco e chumbo nos resíduos fotovoltaicos.

Para os metais raros, como o índio e o gálio, há uma grande dificuldade na extração desses metais por outros métodos como a lixiviação química, que requer uma alta quantidade de reagentes como H2O2 e SOCl2, e tem como resultado uma purificação menor que 90,59% [9]. Por isso, Song et al. [9] apresentaram a eletrodeposição controlada por potencial como alternativa, onde a extração seletiva do metal ocorre de acordo com a diferença de potencial da eletrorredução.

Para reduzir as impurezas dos metais, Hu et al. [46] sugerem um pré-tratamento com trituração, decapagem, filtragem e secagem para ser aplicado antes dos outros processos descritos.

No que tange à utilização dos metais recuperados, o silício foi o que recebeu maiores sugestões de aplicabilidade: Li et al. [47] abordam o seu emprego em baterias de íons de lítio, ligas, catalisadores e material cerâmico. Estes autores recomendam o uso não apenas nas baterias de lítio, mas também em materiais estruturais de alta temperatura e termoelétricos; Liang et al. [49] e Li et al. [50], por sua vez, sugerem a utilização do pó do silício na fabricação de nanotubos.

5.5 Remoção do *Backsheet*

O *backsheet*, conhecido como folha traseira, é formado por polímeros termoplásticos. Morita et al. [51] propõe a retirada manual da folha, e depois, a reciclagem de polímeros termoplásticos por processos de fusão e deformação.

5.6 Reaplicação das baterias

Conjuntamente, a destinação das baterias após a vida útil também é uma preocupação, estes equipamentos também fazem parte do sistema [52] e são compostos de vários elementos químicos como chumbo-ácido, níquel-cádmio [28]. Norgren et al. [52] propõem a utilização da economia circular sugerindo a utilização de baterias de segunda vida oriundas de veículos elétricos para o armazenamento estacionário de energia fotovoltaica, o que ampliaria a vida útil e a aplicação dessas baterias.

No entanto, para os sistemas que já estão instalados com uma bateria de primeira vida, a destinação ideal seria a reciclagem dos componentes destes dispositivos, o que é viável tecnologicamente para as baterias à base de chumbo-ácido – a Austrália, por exemplo, possui mecanismo que garante 99% da reciclagem; porém, as baterias de lítio carecem de ferramentas de reciclagem que garantam alta taxa de recuperação de materiais [3].

6. Propostas de melhoria

Para ampliar o potencial de tratamento dos resíduos fotovoltaicos, algumas melhorias devem ser propostas.

A fabricação dos módulos fotovoltaicos deve atentar para a reciclagem, logo, a melhoria do design com uma simples desmontagem, acompanhada da eliminação de elementos de forte adesão e de componentes tóxicos deve ser considerada [12,47]. Materiais orgânicos podem ser uma alternativa, conforme indicam Bautista-López et al. [53], Suresh et al. [54] e Zhang et al. [55], que apresentam uma série de benefícios como leveza, flexibilidade, baixo custo, não toxicidade e biodegrabilidade – características similares ao material verde, que foi proposto para a mesma função por Zhang et al. [56].

No que tange as técnicas utilizadas na recuperação dos resíduos fotovoltaicos, Guo et al. [4] comentam sobre a necessidade de reduzir os processos que requerem alto valor energético (como a degradação do EVA) e focar na reutilização de componentes-chaves (que tenham valor econômico agregado). Esta opção é reforçada por Markert et al. [57] que indicam a necessidade da utilização de métodos que envolvam menos produtos químicos tóxicos e ácidos para reduzir o custo com a reciclagem e os danos ambientais.

Para ampliar as vantagens econômicas e até ambientais do processo de reciclagem é importante reduzir o deslocamento entre o local de resíduos fotovoltaicos e a usina de tratamento [57]. Por isto, Pero et al. [24] propõem modelos de estações móveis de reciclagem de resíduos fotovoltaicos (os PV-MOREDE system) capazes de realizar desde o pré-tratamento (com a remoção da moldura e corte do painel), até a separação do vidro e do silício, reduzindo custos de deslocamento e investimento para instalação de instalações de reciclagem deste tipo de resíduo.

No aspecto financeiro, para que este processo apresente vantagem econômica e desperte o interesse para seu desenvolvimento em escala comercial, é ideal que os materiais provenientes da reciclagem do sistema possuam um valor econômico considerável e que tenham aplicação comercial.

A economia circular é uma alternativa que traz novos modelos de negócios que diminuem a dependência de matéria-prima virgem e priorizam insumos recicláveis e renováveis [29,58].

De forma geral, os países não adaptaram o sistema para a correta destinação destes resíduos [59], com exceção de casos pontuais como estado da Califórnia - cujo estudo desenvolvido por Theocharis et al. [19] mostrou a eficiência da participação governamental neste processo – e na União Europeia – onde Modrzynski et al. [60] também indicaram vantagens na incorporação das placas fotovoltaicas à diretiva de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Por isso, um ponto trivial é a criação de regulamentações para preparar, incentivar e desenvolver aplicações adequadas de tratamento de resíduos fotovoltaicas [27], como a logística reversa [1] ou incentivos fiscais [61], que tragam benefícios ambientais

e econômicos [29], além de desestimular este descarte em aterros [12].

As tecnologias para a destinação correta de resíduos fotovoltaicos são recentes, e em grande parte, não é possível a aplicação em escala comercial [24]. Assim, é necessário o desenvolvimento de pesquisas que se atentem ao fim da vida útil do sistema [19,24,27]. No Brasil, essa exigência é maior, pois o país carece de estudos sobre o assunto, que representa uma oportunidade para autoridades públicas, indústrias e instituições de pesquisa desenvolverem conhecimento [1].

7. Discussão

A análise bibliométrica da literatura revelou o destaque chinês nas pesquisas sobre o tratamento dos resíduos fotovoltaicos, com notável atuação dos autores Rong Deng e Wenhui Ma. Todavia, há maior diversidade de instituições envolvidas, e um destaque para o *journal* Waste Management, como a maior fonte de publicações o de material.

Sobre os processos de reciclagem, reutilização e recuperação dos resíduos fotovoltaicos, foi possível identificar as principais técnicas da literatura sobre o assunto, sendo possível desenvolver um modelo de processo com sugestões para o tratamento de cada parcela estrutural do sistema fotovoltaico, resultando em materiais que podem ser aplicados comercialmente.

Além disso, as alternativas apresentadas, demonstraram viabilidade: ambiental (com exceção do processo de remoção do EVA, que pode gerar substratos tóxicos), técnica para pequenas quantidades (requer adaptação para sua ampliação para escala comercial) e econômica (ao focar na recuperação de elementos com maior valor econômico, como metais raros; ou realizar processos mais simplificados, mas cujos materiais resultantes são reutilizados convencionalmente, caso da remoção manual da estrutura de alumínio).

8. Considerações Finais

O descarte incorreto dos resíduos fotovoltaicos pode gerar prejuízos ambientais e econômicos, e por isso é necessário incentivar o tratamento correto deste material. Dessa forma, para um melhor reaproveitamento das placas fotovoltaicas após a vida útil é ideal que sejam desenvolvidos sistemas intencionando a reciclagem e a reutilização, ampliando a utilização de elementos de fácil recuperação e reduzindo o uso de metais raros e elementos como o EVA que encarecem e dificultam os processos de reciclagem e reutilização.

Embora não tenha sido elaborado um modelo em escala comercial de recuperação total da placa, existem tecnologias fotovoltaicas dedicadas ao reaproveitamento de partes específicas da estrutura. Ademais, o ideal é focar na recuperação de um material, pois isso facilita o processo: no caso do vidro por exemplo, existem técnicas que conseguem remover o material apenas com o aquecimento. Além disso, cerca de 85% da placa fotovoltaica é formada por alumínio e vidro - materiais que são reciclados/reutilizados convencionalmente.

Para que os processos de reciclagem e de reutilização possam ter viabilidade não apenas ambiental, mas também técnica e econômica, é fundamental que os materiais oriundos da recuperação tenham aplicabilidade no mercado e recebam incentivos para a sua utilização em relação aos materiais virgens – o que deve acontecer inclusive com intervenção estatal. O *downcycling* (reciclagem de baixo custo que reutiliza materiais de menor valor financeiro) é uma alternativa para o reaproveitamento destes resíduos, já que em sua maioria, os materiais provenientes da reciclagem não necessariamente voltarão ao mercado fotovoltaico, mas podem ser utilizados em outras aplicações que exigem menor grau de pureza, por exemplo.

Por ser uma geração distribuída, para ampliar a adesão ao descarte correto e reduzir custos econômicos e ambientais, é importante reduzir a distância entre os resíduos e a usina

de tratamento, logo, estações móveis são uma boa alternativa, especialmente em locais com grande concentração de usuários do sistema.

Por fim, as instituições governamentais têm um papel fundamental: desde o desestímulo do descarte em aterros (por métodos legislativos ou fiscais) – o que tem demostrado retorno positivo na União Europeia -, o incentivo da reciclagem e da reutilização com a valorização dos materiais oriundos destes processos até o fomento do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias no cenário acadêmico e industrial.

Por ser um tema recente, com quantidade moderada de material acadêmico sobre o tema, a pesquisa encontrou uma limitação – número reduzido de tecnologias propostas e com baixa aplicação comercial. Neste aspecto, pesquisas futuras podem se concentrar desde o desenvolvimento de novos materiais e modelos de placas fotovoltaicos até a criação de tecnologias voltadas à reciclagem e reutilização dos resíduos fotovoltaicos.

9. Referências

[1] SOUSA, N. M.; OLIVEIRA, C. B.; CUNHA, D. *Photovoltaic electronic waste in Brazil: circular economy challenges, potential and obstacles.* Social Sciences & Humanities Open, [S.L.], v.7, n. 1, p.1-10, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100456. Acesso em: 24 set. 2024.

[2] HOSSAIN, M. F. *Assessment of the energy recovery potential of waste photovoltaic (PV) modules.* Advanced Technology For The Conversion Of Waste Into Fuels And Chemicals, [S.L.], n.2, p.219-238, 2021. Disponível em: r. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-90150-5.00013-3. Acesso em: 26 abr. 2024.

[3] SALIM, H. K.; STEWART, R. A.; SAHIN, O. DUDLEY, M. *Systems approach to end-of-life management of residential photovoltaic panels and battery energy storage system in Australia.* Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v. 134, p.1 – p.10, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110176. Acesso em: 26 abr. 2024.

[4] GUO, J.; LIU, X.; YU J.; XU, C.; WU, Y.; PAN, D.; SENTHIL, R. A. *An overview of the comprehensive utilization of silicon-based solid waste related to PV industry.* Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 169, p.1 – p.10, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105450. Acesso em: 12 abr. 2024.

[5] RUBINO, A.; SHIAVI, P. G.; ALTIMARI, P.; PAGNANELLI, F. *Valorization of polymeric fractions and metals from end of life photovoltaic panels.* Waste Management, [S.L.], p.89 – p.99, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.037. Acesso em: 12 abr. 2024.

[6] BENLI, H.; GÜRTÜRK, M.; NESLIHAN, K. *Analysis of cleaning process losses in photovoltaic cells.* Environmental Progress & Sustainable Energy, [S.L.], v. 41, n.4, p.1 – p.12, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1002/ep.13805. Acesso em: 12 abr. 2024.

[7] VINAYAGAMOORTHI, R.; BHARGAV, P. B.; AHMED, N.; BALAJI, C.; ARAVINTH, K.; KRISHNAN, A.; GOVINDARAJ, R.; RAMASAMY, P. *Recycling of end of life photovoltaic solar panels and recovery of valuable components: a comprehensive review and experimental validation.* Journal Of Environmental Chemical Engineering, [S.L.], n.1, p.1 – p.12, 2024. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2023.111715. Acesso em: 12 abr. 2024.

[8] LI, J.; YAN, S.; LI, Y.; WANG, Z.; TAN, Y.; LI, J.; XIA, M.; LI, P. *Recycling Si in waste crystalline silicon photovoltaic panels after mechanical crushing by electrostatic separation.* Journal Of Cleaner Production, [S.L.], p.1 – p.12, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137908. Acesso em: 12 abr. 2024.

[9] SONG, Q.; ZHANG, L.; YANG, C.; XU, Z. *Novel Electrodeposition Method for Cu-In-Cd-Ga Sequential Separation from Waste Solar Cell: mechanism, application, and environmental impact assessment.* Environmental Science & Technology, [S.L.], v. 55, N.15, p.10724 – P.10733, 2021. Disponível em:

http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.1c0249. Acesso em: 12 abr. 2024.

[10] GUERIN, T. *Using integrated risk assessment to enable on-site re-purposing of construction wastes from renewable energy projects to confirm highest value re-use.* Environmental Science And Pollution Research, [S.L.], v. 29, n.15, p.8909 – p.8920, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-16283-2. Acesso em: 12 abr. 2024.

[11] MODRZYNSKI, C.; WEIDLICH, C. *An Electrochemical Process for the Recovery of Metals and High Purity Silicon from Photovoltaic Modules.* Ecs Meeting Abstracts, [S.L.], n. 25, p.1211 – p.1225, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1149/ma2022-01251211mtgabs. Acesso em: 12 abr. 2024.

[12] DENG, R.; CHANG, N. L.; OUYANG, Z.; CHONG, C. M. *A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling.* Renewable And Sustainable Energy Reviews, [S.L.], v.109, n. 3, p.532 – p.550, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.020. Acesso em: 12 abr. 2024.

[13] SÁNCHEZ-SERRANO, S.; PEDRAZA-NAVARRO, I.; DONOSO-GONZÁLEZ, M. *¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?* Bordón. Revista de Pedagogía, [S.L.], v.74, n. 3, p.51 – p.66, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.13042/bordon.2022.95090. Acesso em: 20 mar. 2024.

[14] PICCOLI, M. S. Q.; STECANELA, N. *Popularização da ciência: uma revisão sistemática de literatura.* Educação e Pesquisa, [S.L.], v.49, n. 1, p.1 – p.20, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-4634202349253818. Acesso em: 20 mar. 2024.

[15] MARCONDES, R.; SILVIA, S. L. R. *O Protocolo Prisma 2020 como uma possibilidade de roteiro para revisão sistemática em ensino de ciências.* Revista de Brasileira de Pós-Graduação (RBPG), Brasília, v.18, n. 39, p.1 – p.19, 2022. Disponível em: https://rbpg.capes.gov.br/rbpg/article/view/1894/980. Acesso em: 20 mar. 2024.

[16] FRANCO, A. C.; PIEKARSKI, C. M.; FRANCO, L. S. *Industrial challenges with photovoltaic applications: a systematic review.* Navus - Revista de Gestão e Tecnologia, [S.L.], v.10, n. 1, p.1 – p.16, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.22279/navus.2020.v10.p01-16.1283. Acesso em: 20 mar. 2024.

[17] SILVA, J. D. N.; RIZZATTI, I. M.; FRANÇA, A. C. S. *Pesquisa participante e educação ambiental: análise a partir de periódicos da capes no período de 2012 a 2022.* Navus - Revista Brasileira de Educação Ambiental, [S.L.], v.19, n. 1, p.488 – p.500, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v19.15522. Acesso em: 20 mar. 2024.

[18] PAGE, Matthew J; MCKENZIE, Joanne e; BOSSUYT, Patrick M; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C; MULROW, Cynthia D; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M; A AKL, Elie; BRENNAN, Sue e. *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. Bmj, [S.L.], p. 71-79, 29 mar. 2021. BMJ. http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em 29 de setembro de 2024.

[19] THEOCHARIS, M.; PAVLOPOULOS, C.; KOUSI, P.; HATZIKIOSEYIAN, A.; ZARKADAS, I.; TSAKIRIDIS, P. E.; REMOUNDAKI, E.; ZOUMBOULAKIS, L.; LYBERATOS, G. *An Integrated Thermal and Hydrometallurgical Process for the Recovery of Silicon and Silver from End-of-Life Crystalline Si Photovoltaic Panels.* Waste And Biomass Valorization, [S.L.], v.13, n. 9, p.4027 – p.4041, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s12649-022-01754-5. Acesso em: 29 mar. 2024.

[20] ZHAO, J.; LI, S. *Performance study and environmental evaluation of alkali-activated materials based on waste photovoltaic glass.* Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v.379, n. 1, p.134576 – p.500, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v19.15522. Acesso em: 29 mar. 2024.

[21] YU, Y.; BAI, X.; LI, S.; SHI, J.; WANG, LEI.; XI, F.; MA, W.; DENG, R. *Review of silicon recovery in the photovoltaic industry.* Current Opinion In Green And Sustainable Chemistry, [S.L.], v.44, p.100870, 2023. Disponível em:

http://dx.doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100870. Acesso em: 29 mar. 2024.

[22] ZHAO, J.; LI, S. *Alkali-activated binder with waste photovoltaic glass powder and blast furnace slag as precursors: performance study, shrinkage- reducing technology and mechanism analysis.* Journal Of Non-Crystalline Solids, [S.L.], v.609, p.122263, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2023.122263. Acesso em: 29 mar. 2024.

[23] FIANDRA, V.; SANNINO, L.; ANDREOZZI, C.; GRADITI, G. *End-of life of silicon PV panels: a sustainable materials recovery process.* Waste Management, [S.L.], v.84, p.91 – P.101, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.035. Acesso em: 29 mar. 2024.

[24] PERO, F.; DELOGU, M.; BERZI, L; ESCAMILLA, M. *Innovative device for mechanical treatment of End of Life photovoltaic panels: technical and environmental analysis.* Waste Management, [S.L.], p.535 – p.548, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.037. Acesso em: 29 mar. 2024.

[25] PEREIRA, M. C. R.; CORIA, A. S. Environmental impacts of solar photovoltaic systems: a revision from life cycle assessments and other studies. Revista Eia, [S.L.], v.19, n. 38, p.1 – p.18, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.24050/reia.v19i38.1570. Acesso em: 29 mar. 2024.

[26] LIU, B.; LI, J.; DING, Y.; ZHENG, H.; ZHANG, S. Recycling Status of Scrap Photovoltaic Panels. Chinese Journal Of Rare Metals, [S.L.], v.43, n. 9, p.987 – p.996, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.13373/j.cnki.cjrm.XY19010021. Acesso em: 29 mar. 2024.

[27] MISHRA, S.; ROUT, P. K.; DAS, A. P. *Solar photovoltaic panels as next generation waste: a review.* Biointerface Research In Applied Chemistry, [S.L.], v.9, n. 6, p.4539 – p.4546, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.33263/briac96.539546. Acesso em: 29 mar. 2024.

[28] SALIM, H. K.; STEWART, R. A.; SAHIN, O.; DUDLEY, M. *Drivers, barriers and enablers to end-of-life management of solar photovoltaic and battery energy storage systems: a systematic literature review.* Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v.211, p.537 – p.554, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.229. Acesso em: 29 mar. 2024.

[29] KALASARIYA, N.; ALEXANDER, A.; BHUNIA, P. K.; GUTIERREZ – PARTIDA, E.; BENNY, R.; STOLTERFOHT, M.; NAMBOOTHIRY, M. A. G. *Controlling Lead Halide Residue in Perovskite Solar Cells: a method to improve the photostability and hysteresis.* Solar Rrl, [S.L.], v.8, n. 1, p.1 – p.10, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1002/solr.20230078. Acesso em: 29 mar. 2024.

[30] PRASAR, D.; KUMAR, S.; SANJANA, B.; KIRAN, D.; KAMARAJ, A.; RATHEESH, R. *A novel approach for the efficient recovery of lead from End-of-Life Silicon Photovoltaic modules.* Solar Energy Materials And Solar Cells, [S.L.], v.266, n. 1, p.112 – p.130, 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2023.112672. Acesso em: 29 mar. 2024.

[31] RAMOS, I.; OROSCO, P.; BARRIOS, . C.; JEREZ, A. L.; SHAM, E. L.; TESIO, A. *Forsterite and magnesium aluminate spinel synthesis and silver extraction by calcination of silicon solar cell from discarded solar Pv panels with bischofite.* Silicon, [S.L.], v.15, n. 6, p.2581 – p.2595, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s12633-022-02187-4. Acesso em: 04 abr. 2024.

[32] LI, X.; RUAN, J.; ZANG, X.; ZHANG, X.; HE, Y.; ZHANG, L.; XING, Z. *Research Progresso on Resource Utilization of Crystal Silicon Diamond-Wire Cutting Waste.* Materials Reports, [S.L.], v.35, p.22339 – p.23234, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.11896/cldb.20080070. Acesso em: 04 abr. 2024.

[33] SAVVILOTIDOU, V.; KRITIKAKI, A.; STRATAKIS, A.; KOMNITSAS, K.; GIDARAKOS, E. *Energy efficient production of glass-ceramics using photovoltaic (P/V) glass and lignite fly ash.* Waste Management, [S.L.], v.90, p.46 – p.58, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.022. Acesso em: 04 abr. 2024.

[34] GAHLOT, R.; MIR, S. DHAWAN, N. *Recycling of Discarded Photovoltaic Solar Modules for Metal Recovery: a review and outlook for the future.* Energy & Fuels, [S.L.], v.36, n. 24, p.14554 – p.14572, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c02847. Acesso em: 04 abr. 2024.

[35] DOBRA, T.; VOLLPRECHT, D.; POMBERGER, R. *Thermal delamination of end-of-life crystalline silicon photovoltaic modules.* Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, [S.L.], v.40, n.1, p.96 – p.103, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1177/0734242x21103818 4. Acesso em: 04 abr. 2024.

[36] SASAI, M.; YAMASHITA, T.; INOUE, D. *Development of low-temperature thermal decomposition recycling technology from photovoltaic modules to flat glass applications.* Japanese Journal Of Applied Physics, [S.L.], v.62, p.1 – p.10, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.35848/1347-4065/accd7a. Acesso em: 06 abr. 2024.

[37] MÁčALOVÁ, K.; VÁCLAVÍK, V.; DVORSKÝ, T.; FIGMIG, R.; CHARVÁT, J.; LUPTÁK, M. *The Use of Glass from Photovoltaic Panels at the End of Their Life Cycle in Cement Composites.* Materials, [S.L.], v.14, n.21, p.6655, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.3390/ma14216655. Acesso em: 06 abr. 2024.

[38] BARCELOS, D. A.; DIANA, C. L.; LAURA, C. J.; GONÇALVES, M. C. *What Is Driving the Growth of Inorganic Glass in Smart Materials and Opto-Electronic Devices?* Materials, [S.L.], v.14, n.11, p.2926, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.3390/ma14112926. Acesso em: 04 abr. 2024.

[39] WANG, K.; TAN, Y.; LI, P.; WANG, Y. *Recycling Si waste cut from diamond wire into high performance porous Si@SiO2@C anodes for Li-ion battery*. Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v.407, p.124778, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124778. Acesso em: 06 abr. 2024.

[40] SCHMIDT, F.; AMREIN, M.; HEDWIG, S.; KOBER-CZERNY, M.; PARACCHINO, A.; HOLAPPA, V.; SUHONEN, R.; SCHAFFER, A.; CONSTABLE, E.; SNAITH, H. *Organic solvent free PbI2 recycling from perovskite solar cells using hot water*. Materials, [S.L.], v.447, p.6655, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.3390/ma14216655. Acesso em: 06 abr. 2024.

[41] TAO, R.; LI, B.; WU, Y.; ZHANG, W.; YUAN, H.; GU, J.; CHEN, Y. *Pyrolysis mechanism and recycling strategy of end-of-life photovoltaic modules based on the experiment and the density functional theory.* Polymer Degradation And Stability, [S.L.], v.217, p.110545, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110545. Acesso em: 06 abr. 2024.

[42] WANG, L.; XI, F.; ZHANG, Z.; LI, S.; CHEN, X.; WAN, X.; MA, W.; DENG, R.; CHONG, C. *Recycling of photovoltaic silicon waste for high-performance porous silicon/silver/carbon/graphite anode*, [S.L.], v.132, p.56 – P.63, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.014. Acesso em: 07 abr. 2024.

[43] GUO, J.; LIU, Y.; LIU, L.; LIU, J.; KONG, K.; WANG, S; JIANG, S.; XING, P. *A Low-Cost and Facile Method to Recycle Silicon Carbide Particles from the Solar Grade Silicon Slicing Wastes*, Silicon, [S.L.], v.12, p.2405 – p.2412, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s12633-019-00334-y. Acesso em: 07 abr. 2024.

[44] ZHANG, T.; ZHAN, L.; YUAN, X.; XU, Z. *Simultaneous harmless ionization of CFC and resource utilization of waste solar panel through one-pot hydrothermal treatment*. Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v.441, p.129918, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129918. Acesso em: 07 abr. 2024.

[45] XANTHOPOULOS, P.; BEVANDIC, S.; SPOOREN, J.; BINNEMANS, K.; KURURUGYA, F. *Recovery of copper, zinc and lead from photovoltaic panel residue*. Rsc Advances, [S.L.], v.12, p.2351 – p.2360, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1039/d1ra09268e. Acesso em: 07 abr. 2024.

[46] HU, Z.; YUAN, F.; LI, J.; TAN, Y.; LIU, Y.; LI, P. *Recycling of kerf loss silicon: an optimized method to realize effective*

elimination of various impurities. Waste Management, [S.L.], v.170, p.230 – p.239, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2023.09.015. Acesso em: 07 abr. 2024.

[47] LI, X.; LV, G.; MA, W.; LI, T.; ZHANG, J.; LI, S.; LEI, Y. *Review of resource and recycling of silicon powder from diamond-wire sawing silicon waste*. Journal Of Hazardous Materials, [S.L.], v.424, p.127389, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127389. Acesso em: 11 mai. 2024.

[48] LI, J.; LI, Z.; LEI, M.; WANG, M.; MA, W.; LEI, Y. *Simultaneous Recycling of Chromium-Containing Waste Slag and Diamond-Wire Silicon Slitting Scrap to Prepare High-Purity CrSi2 and Eutectic Si–Cr Alloy*. Acs Sustainable Chemistry & Engineering, [S.L.], v.11, n.46, p.16554 - 16566, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c04546. Acesso em: 11 mai. 2024.

[49] LIANG, A.; XU, T.; LIOU, S.; LI, Y. *Silicon Single Walled Carbon Nanotube-Embedded Pitch-Based Carbon Spheres Prepared by a Spray Process with Modified Antisolvent Precipitation for Lithium Ion Batteries*. Energy & Fuels [S.L.], v.35, n.11, p.9705 - 9713, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01084. Acesso em: 15 mai. 2024.

[50] LI, Y.; CHEN, G.; LIU, W.; ZHANG, C.; HUANG, L.; LUO, X. *Construction of porous Si/Ag@C anode for lithium-ion battery by recycling volatile deposition waste derived from refining silicon*. Waste Management, [S.L.], p.22 - p.32, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01084. Acesso em: 15 mai. 2024.

[51] MORITA, Y.; SAITO, Y.; KUMAGAI, S.; KAMEDA, T.; SHIRATORI, T.; YOSHIOKA, T. *Alkaline hydrolysis of photovoltaic backsheet containing PET and PVDF for the recycling of PVDF*. Journal Of Material Cycles And Waste Management [S.L.], v.25, n.2, p.674 – p. 683, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s10163-023-01609-8. Acesso em: 20 mai. 2024.

[52] NORGREN, A.; CARPENTER, A.; HEATH, G. *Design for Recycling Principles Applicable to Selected Clean Energy Technologies: crystalline-silicon photovoltaic modules, electric vehicle batteries, and wind turbine blades*. Journal Of Sustainable Metallurgy, [S.L.], v.6, n.4, p.761 – p. 774, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s40831-020-00313-3. Acesso em: 20 mai. 2024.

[53] BAUTISTA-LÓPEZ, J. A.; DÍAZ-PONCE, A.; RANGEL-MÉNDEZ, J. R.; CHÁZARO-RUIZ, L. F.; MUMANGA, T. J.; OLMOS-MOYA, P.; VENCES-ÁLVAREZ, E.; PINEDA-ARELLANO, C. A. *Design for Recent progress in organic waste recycling materials for solar cell applications*. Environmental Science And Pollution Research, [S.L.], v.30, n.47, p.103367 – p. 103389, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s40831-020-00313-3. Acesso em: 22 mai. 2024.

[54] SURESH, L.; VAGHASIYA, J. V.; JONES, M. R.; TAN, S. C. *Design for Biodegradable Protein-Based Photoelectrochemical Cells with Biopolymer Composite Electrodes That Enable Recovery of Valuable Metals*. Acs Sustainable Chemistry & Engineering, [S.L.], n.9, p.8834 – p. 8841, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00790. Acesso em: 22 mai. 2024.

[55] ZHANG, G; HU, D.; TANG, H.; SONG, H.; DUAN, S.; KAN, Z.; LU, S. *Volatile Additive Strategy Triggering 17.48% Efficient Post-Treatment-Free Organic Solar Cells*. Solar Rrl, [S.L.], v.7, n.4, p.1 – p. 8, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1002/solr.20220099. Acesso em: 22 mai. 2024.

[56] MARTINS R. *Discover Materials: the pathway to explore materials as activators of the challenges of the future*. Discover Materials, [S.L.], v.1, n.1, p.104 – p. 109, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s43939-020-00002-8. Acesso em: 22 mai. 2024.

[57] MARKERT, E.; CELIK, I.; APUL, D. *Private and Externality Costs and Benefits of Recycling Crystalline Silicon (c-Si) Photovoltaic Panels*. Energies, [S.L.], v.13, n.14, p.3650 – p. 3659, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.3390/en13143650. Acesso em: 29 mai. 2024.

[58] HEATH, G. A.; RAVIKUMAR, D.; HANSEN, B.; KUPETS, E. *A critical review of the circular economy for lithium-ion batteries and photovoltaic modules – status, challenges, and opportunities*. Journal Of The Air & Waste Management Association, [S.L.], v.72, n.6, p.478 – p. 539, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/10962247.2022.2068878. Acesso em: 29 mai. 2024.

[59] GUERIN, T. F.. *Assessing Technical Options for Handling Packaging Wastes from Construction of a Solar PV Powerstation: a case study from a remote site*. Water, Air, & Soil Pollution, [S.L.], v.231, n.5, p.1, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s11270-020-04604-z. Acesso em: 29 mai. 2024.

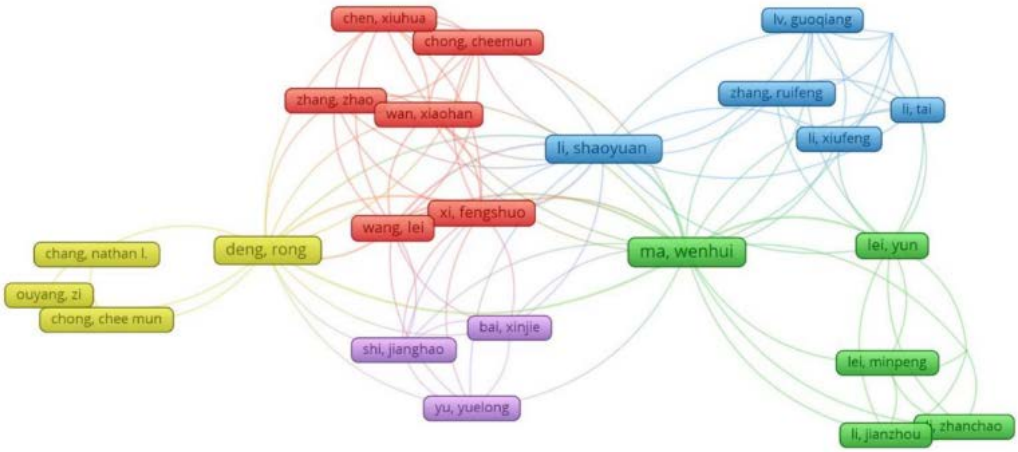
[60] MODRZYNSKI, C.; BLOH, J. Z.; WEIDLICH, C. *Kinetic Investigations of the Electrochemically Assisted Leaching of Metals for the Recycling of Photovoltaics.* Journal Of The Electrochemical Society, [S.L.], v.169, n. 7, p.073513, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1149/1945-7111/ac8021. Acesso em: 29 mai. 2024.

[61] BARTIE, N.; COBOS-BECERRA, L.; FRÖHLING, M.; SCHLATMANN, R.; REUTER, M. *Metallurgical infrastructure and technology criticality: the link between photovoltaics, sustainability, and the metals industry*. Mineral Economics, [S.L.], v.35, p. 503 – p. 519, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s13563-022-00313-7. Acesso em: 02 jun. 2024.

10. Apêndices

APÊNDICE A

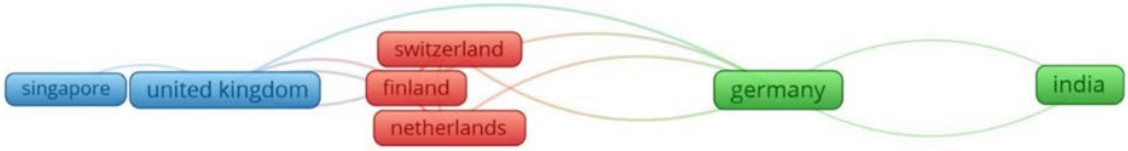
Fluxograma 1 – Autores mais relevantes



Fonte: Próprio autor

APÊNDICE B

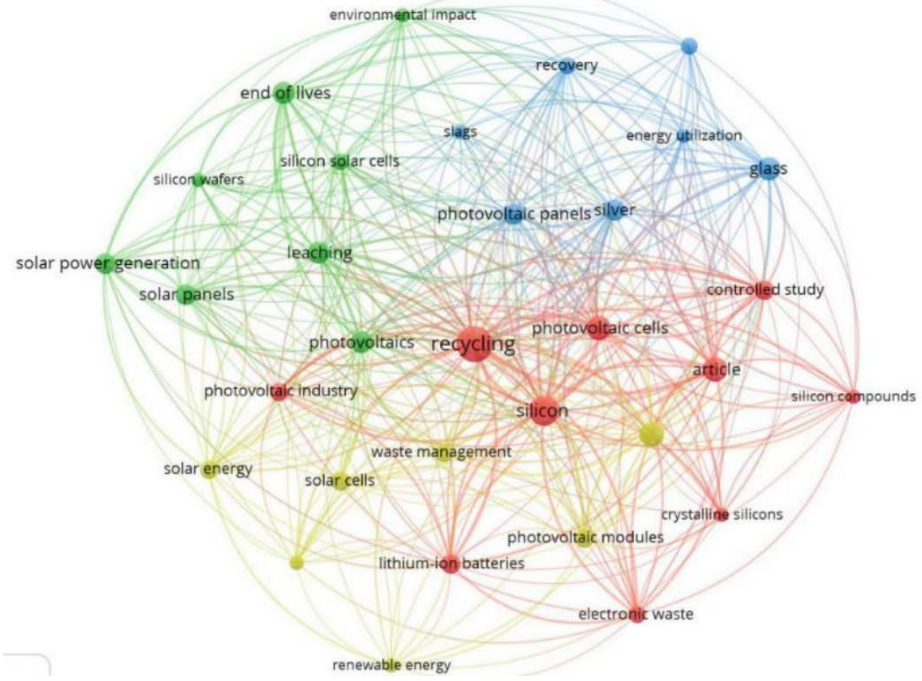
Fluxograma 2 – Países com publicações correlatas



Fonte: Próprio autor

APÊNDICE C

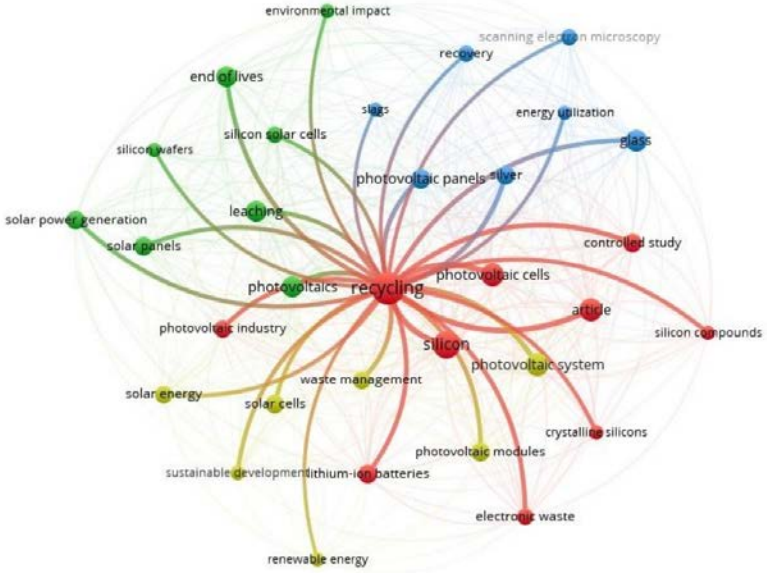
Fluxograma 3 – Diagrama das palavras-chave



Fonte: Próprio autor

APÊNDICE D

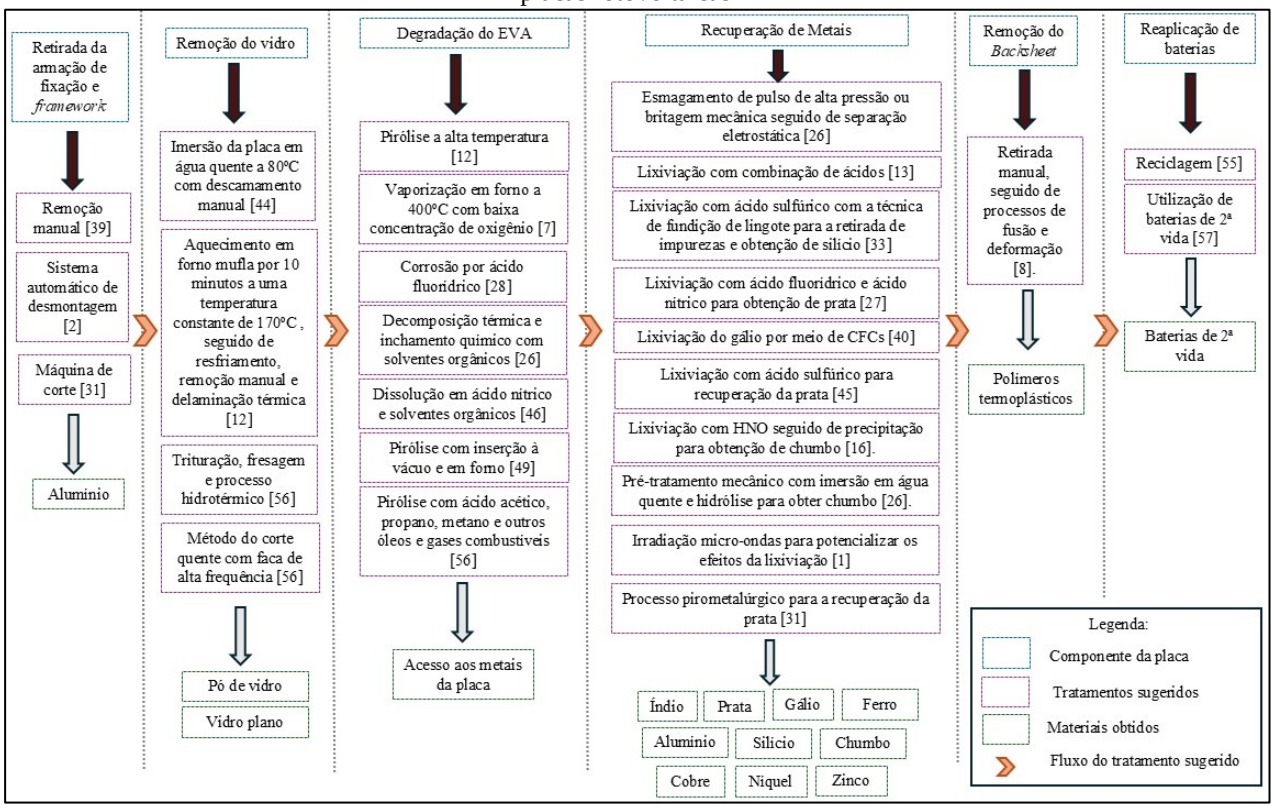
Fluxograma 4 – Diagrama da palavra-chave "*recycling*"



Fonte: Próprio autor

APÊNDICE E

Fluxograma 5 – Diagrama das principais tecnologias da reciclagem/reutilização dos resíduos provenientes das placas fotovoltaicas



Fonte: Próprio autor

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Temperature Prediction for indoor environments using sensors and Linear Regression

Predição de temperatura para ambientes internos usando sensores e regressão linear

GONZÁLEZ, Jorge[1]; WILLCOX, Laryssa[2]; STOLZ, Carina[3]; HADDAD, Assed[4].
jorgegonzalez@poli.ufrj.br[1]; larywillcox@poli.ufrj.br[2]; carinastolz@poli.ufrj.br[3]; assed@poli.ufrj.br[4].

[1] Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
[2] Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
[3] D.Sc. Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
[4] D.Sc. Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Informações do Artigo

keywords:
Arduino,
Built Environment,
Digital Twins.
Energy Efficiency,
Sensors.

Palavras-chave:
Arduíno,
Ambiente Construído,
Gêmeos Digitais.
Eficiência Energética,
Sensores.

Resumo:

A eficiência energética está sendo procurada como uma nova abordagem ao consumo de energia no ambiente construído, visando a transição energética e sustentabilidade. A recente incorporação dos avanços tecnológicos da Indústria 4.0 permite integrar diferentes dispositivos para automatizar o processo de tomada de decisão na indústria da construção. Nesta pesquisa foram utilizados um microcontrolador Arduino e um sensor de temperatura para obter registros da temperatura em um laboratório. O objetivo foi utilizar esta inovação digital para gerar dados deste espaço e permitir o desenvolvimento de estratégias de eficiência energética. Utilizando um método de Regressão Linear Múltipla, e com base em quatro horas e meia de medições, foi realizada a previsão da temperatura para o funcionamento do espaço durante o resto do dia. Verificou-se que o laboratório permaneceu em um intervalo de temperaturas entre 21ºC e 24ºC durante todo o dia, ligando o ar-condicionado apenas durante uma hora e meia, o que garante níveis de conforto e poupanças energéticas significativas. A contribuição desta pesquisa primeiramente ajuda a explorar a integração de tecnologias 4.0 no ambiente construído para o desenvolvimento de gémeos digitais de ativos físicos. Em segundo lugar, permite encontrar um ponto ideal entre o conforto interior e o consumo energético.

Abstract

Energy efficiency is being pursued as a new approach to the energetic consumption in the built environment towards energy transition and sustainability goals. The recent incorporation of technological advances from the Industry 4.0 permits to integrate different devices to automate the decision-making process in the construction industry. In this research, an Arduino Microcontroller and a temperature sensor were utilized to obtain registers about the temperature in a laboratory. The objective was to utilize this digital innovation to generate data for this space and permit the development of energy efficiency strategies. By utilizing a Multiple Linear Regression method, and basing on four and a half measurements,

a prevision of temperature was accomplished for the functioning of the space during the rest of the day. It was found that the laboratory remained between 21ºC and 24ºC all over the day by only turning on the air conditioner for one and a half hour, which ensures comfort levels and significant energy savings. The contribution of this research, firstly, helps in exploring the integration of 4.0 technologies in the built environment towards the development of digital twins of physical assets. Second, it permits to find an optimal point between indoor comfort and energy consumption.

1. Introduction.

The new era of digitalization is expected to promote changes in the current energy systems by including optimized strategies and cost-effective solutions for future energy grids and reduce carbon emissions [1]. The utilization of Digital Twins (DT) technology and smart energy-management systems would permit to automate the energy use [2].

Energy 4.0 surges as a solution to outdated and overwhelmed grids, making them smarter and with bidirectional communication by using technological innovations. Smart grids in energy systems mean databased environment, with advanced analytical capabilities, integrated, and decentralized, including renewable energy sources. The smart monitoring process permits to acquire real-time data about voltage, current, connectivity, and temperature via wireless sensor networks [3].

In the built environment, there is a chance to include advanced technologies such as smart grids, smart management systems, renewable energy sources, and storage. Likewise, the utilization of sensors, smart meters, data sources, and wireless communication can help to achieve the integration of the above-mentioned technologies [4].

Energy consumption in the built environment depends on many aspects, such as location, use, hours of operation, equipment technology, and so on. Optimizing building energy consumption seems imperative since commercial and office sectors consume 71% of the whole global energy consumption [2].

The energy sector is one of the most important for society, where reliable and permanent operations are essential. The innovations in this sector are expected to enhance the operations and integration with other systems [3]. Energy efficiency is based on the capability to permit energy savings, and it is pointed out as the main goal to pursue when using 4.0 technologies in smart energy systems. The transition to this energy system is inevitable. It is expected to obtain 18% increase in energy efficiency by 2030, but to achieve it seems necessary to surpass the challenge of presenting a more developed data infrastructure in the smart energy systems [1].

The United Nations (UN) highlights a strong relationship between sustainability and energy transition. It is expected that the inclusion of technical advances related to digitalization in the energy sector will translate into relevant transformation in the energy sector, changing the way people trade, produce, consume, and live. However, accelerating the global energy transition represents a challenge, first, due to the high interdependency of high-carbon fossil fuels; second, due to the difficulties in transformation and adjustments in energy system's structures; and third, due to the several concerns in terms of environmental and social aspects [5], [6], [7].

For this reason, the next research question is: What are the current possibilities of integrating 4.0 technologies in the construction industry towards energy

transition? It is possible to think that testing 4.0 technologies in the built environment determines if these technologies truly encourage transition energy.

The objective of this research relies on testing if one of the 4.0 technologies permits us to develop energy-efficient measures in the built environment. It is important to deepen our knowledge about this area due to the possibilities of discovering integration strategies that the most recent technologies offer. This research is concerned in optimizing the utilization of energy and bringing a sustainable perspective for its consumption according to the most recent demands in the built environment.

2. Literature Review.

Global energy consumption has increased in the last years, highlighting the need to achieve sustainability goals to avoid negative effects. For this reason, reducing energy consumption, diversifying the energy grid, promoting behavioral change, and utilizing the latest technological trends had gained interest, making it possible to develop a whole area of research named energy transition [6], [8].

Global energy consumption has increased in the last years, highlighting the need to achieve sustainability goals to avoid negative effects. For this reason, reducing energy consumption, diversifying the energy grid, promoting behavioral change, and utilizing the latest technological trends had gained interest, making possible to develop a whole area of research named energy transition [6], [8].

The role of these technologies is to permit the implementation of energy-efficiency strategies, which performs a primary role in the transition to net-zero carbon emissions [6]. In the construction industry, energy efficiency is one of the most relevant cost-saving opportunities for facilities managers since it does not require huge investments or expenses [9]. As the focus of sustainability in construction is related to the energy systems, the attention relays on the operation of the built environment [2].

The strategies for reduction of energy consumption are associated, in part, to control the thermal performance of a building during operational phase of the building, considering passive and active system components. For this reason, the optimization of the HVAC systems and appliances is important to ensure an efficient energy operation [2], [9].

The integration of data in the energy systems could permit the development of Digital Twins (DT). Within them, the digital information is obtained, processed, analyzed, and can be integrated with the digital environment to improve the physical environment [10]. Real-time data exchange is one of the most important aspects of 4.0 technologies since it is relevant to obtaining information of constant and instantaneous monitoring. The data obtained from the system can be analyzed effectively and different models of the building's energy consumption can be evaluated. With this, help managers make informed decisions about energy use and saving opportunities, predict equipment failures and program maintenance activities, and quickly identify errors [2], [11].

Data collection and acquisition are one of the most important procedures to obtain energy savings. This task involves sensor selection, establishment of a communication protocol, information systems, and storage, and establishing a data prioritization protocol. The utilization of data-driven modeling methods can adapt to the uncertainties in the systems, reflecting the behavior of the real world and the introduction of smart approaches is required to execute predictive analysis [1].

The digitalization of energy systems promotes the increment of volumes of data, introduces new technologies, and contributes to revenue streams. It permits us to understand a holistic perspective of energy efficiency, including demand-side flexibility and end-use-side efficiency. Also, it ensures

better information flow and the provision of electricity following the lowest emissions and costs properly [6].

However, there is a series of barriers and challenges that need to be surpassed to properly implement smart energy systems. There are significant economic and financial barriers, due to high initial costs. Also, lack of social awareness, since the inclusion of digital technologies have faced severe resistance due to less recognition and limited learning rate [6]. It is lacking a significant evaluation of the integration of technologies such as blockchain, IoT, renewable energy sources in smart grids, towards the digitalization of the energy systems. Also, more research is needed to understand how these technologies help to achieve energy efficiency [6].

Some authors conveyed that the challenges for this include the adoption of correct strategies to efficiently manage and obtain data, designing predictive models capable of managing uncertainties, and interconnecting the different components of a grid [2], [12]. For this reason, it is necessary to continue exploring energy performance analysis, as well as developing more detailed layout and configuration of buildings. Also, it is necessary to continue validating, testing and improving the models [2].

3. Methodology.

Many researchers have studied the consumption of the building's energy by the HVAC (Heat, Ventilation and Air Conditioning) systems, by developing different strategies to improve the thermal comfort of the dwellers. The general idea is to apply energy-efficient approaches, since energy savings is a critical challenge nowadays [13], [14], [15].

Some authors have identified six variables affecting thermal sensibility: temperature, humidity, air speed, average radiant temperature, metabolic rate, and clothing insulation. Smart monitoring has been developed to measure these variables, especially in the operation stage of the building [13], [16], [17].

One of the most applied techniques to measure indoor variables in the built environment affordably is by using the microcontroller Arduino with sensors [13], [15], [17], [18]. Several research has been accomplished toward creating a real-time platform for performance monitoring, utilizing piezoelectric sensors, different types of Arduino controllers, different building systems, and disposing IoT to communicate data [15], [18], [19]. Appliances connected to a microcontroller can run automatically by embedding a program into the microcontroller [20].

Essa *et al.*[15] utilized temperature, humidity, vibration, and pressure sensors to execute environmental analysis and identify occurring liabilities. They collected, organized, and saved data using an Arduino Mega Microcontroller, and a Raspberry Pi controller was utilized to process data and perform automatic decisions.

Romadhon and Widyaningrum [20] developed a system using an Arduino Mega, and three different types of sensors to make decisions over different connected devices under the concept of smart home. They tested the system's capabilities to open a gate and a garage door, measure temperature and humidity, give warnings in case of gas leakage, and turn on/off the lights.

Aleksandrovs-Moisejs *et al.* [16] worked with three types of temperature sensors to accomplish measurements under different conditions and analyze which was more sensitive. They utilized the IDE application to program the commands. Likewise, Mobaraki *et al.* [18] developed five different monitoring systems using five different sensors to evaluate their accuracy. Two different algorithms were established to capture and analyze the data using IDE programming application.

Nikitha *et al.* [21] studied the development of a smart-home system for monitoring environmental conditions

(temperature, humidity and fire-detection monitoring) in the living room and a bedroom. Similarly, El-Leathey *et al.* [22] created a system using Arduino and multiple sensors, but in this case, for studying environmental conditions in office buildings towards the creation of energy-efficient strategies. The conditions analyzed were humidity, light, sound level, and temperature.

Visvesvaran *et al.* [23] developed a greenhouse monitoring system based on temperature, humidity, soil moisture, pH, and light sensors and an Arduino microcontroller, to automatically deliver nutrients to the plants. Borkowski [17] created a system for temperature monitoring in a house to permit the enrichment of a digital model towards the integration of data following the BIM methodology. With the help of sensors, an Arduino microcontroller, and the Arduino IDE programming environment, the author studied the integration with a BIM model through the MQTT protocol.

Abdalgader, Al Ajmi and Saini [19] developed a system for measuring and analyzing the effect of weather conditions on thermal insulation efficiency by measuring temperature and humidity with low-cost sensors.

Irshad *et al.* [14] studied the performance of a thermoelectric air conditioning system controlled by a IoT-based configuration for real climatic application. The goal was to maintain the temperature of the room by continuously monitoring the parameters.

Mahgoub *et al.* [24] developed an experimental Building Management System (BMS) to monitor environmental conditions to reduce energy loads during the operation of buildings. This research integrated a programmable logic controller, an Arduino, and several sensors to obtain data, as well as an ANN to make forecasts of the temperature indoors.

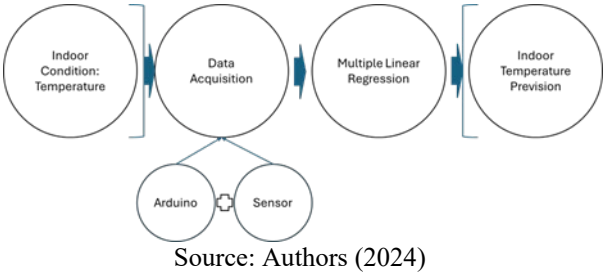
The integration of real-time data to enrich models appears as a suitable idea since it permits visualization, monitoring, and automation of the decision-making process [13], [15]. According to the amount of data, the decision-making process can be assisted by IA. For solid databases, automation algorithms can be useful to execute commands to the appliances of the system. However, for limited databases, it is necessary to accomplish forecasts of the condition's behavior or the performance of the appliances.

Artificial Neural Network (ANN) algorithm can be utilized to make forecasts related to the temperature indoors, due to its reliability, however it needs a sufficient and representative amount of data for the model training [25]. A linear or multiple regression analysis of the available data can be executed as well, especially when it is scarce.

For this reason, to accomplish forecasts of temperature data in this research, only a multiple linear regression study was performed to understand the temperature variations in a laboratory room. It was considered this space with its air conditioner unit on during a period, and also, an opened door that permitted to receive cold air from an air conditioner unit out of this space. This situation represents the normal functioning of the laboratory.

It was found the equation that leads the model, considering temperature as the dependent variable, and the periods of study as independent variables. A flowchart showing the whole process of this research can be seen in Figure 1.

Figure 1 – Flowchart of the research.



Source: Authors (2024)

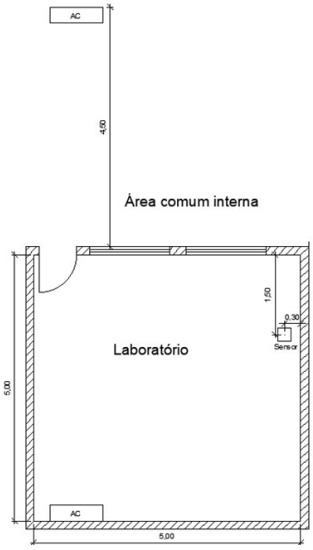
For this research, only the variable temperature was considered for measurements. The microcontroller Arduino MEGA 2560 was utilized, as well as the

HDC1080 sensor temperature sensor. The Arduino MEGA 2560 is one of the most popular microcontroller boards in the electronics industry, counting with 54 digital input/output pins, 16 analog inputs, 4 hardware serial ports, a 16 MHz crystal oscillator, and a USB connection. The sensor selected for the temperature measures was HDC1080 Low Power, High Accuracy, from Texas Instruments, which measures temperature, with a range from -40ºC to 125ºC and ±2ºC accuracy, and humidity with a range from 0 to 100% and ±2% accuracy.

The place chosen to execute the measurements was Laboratory Nº 1 of the GESTORE department, part of the Escola Politécnica of the Federal University of Rio de Janeiro. It is a closed underground room, with artificial lighting, windows with indoor views, 4 LED lamps with neutral lighting, and an air-conditioning unit (see Figure 2). The microcontroller was put on a table, and properly connected to the computer (see Figure 3). The arrangement of cables and the sensor can be seen in Figure 4.

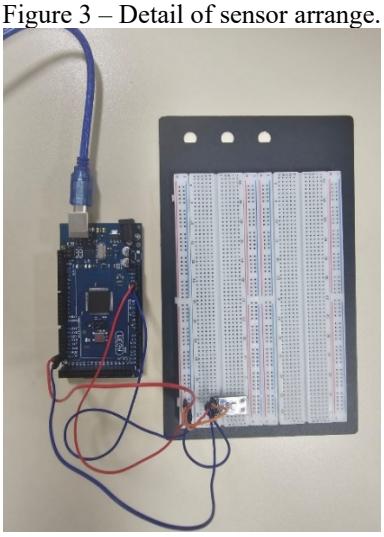
Arduino Integrated Development Environment (IDE) was used to create a code to make measurements. It is open-source software that permits to write codes and upload them to the board. ClosedCube_HDC1080 library was utilized on Arduino IDE to collect temperature data from the HDC1080 sensor. This library was created specifically for this sensor and permits us to acquire measures of humidity and temperature easily; in this case, it only reads the former. The outputs of temperature measures are represented in Celsius (C), which can be seen in Appendix A. The data obtained was exported in format .csv to create a file in Microsoft Excel.

Figure 2 – Laboratory's floor-plan sketch.



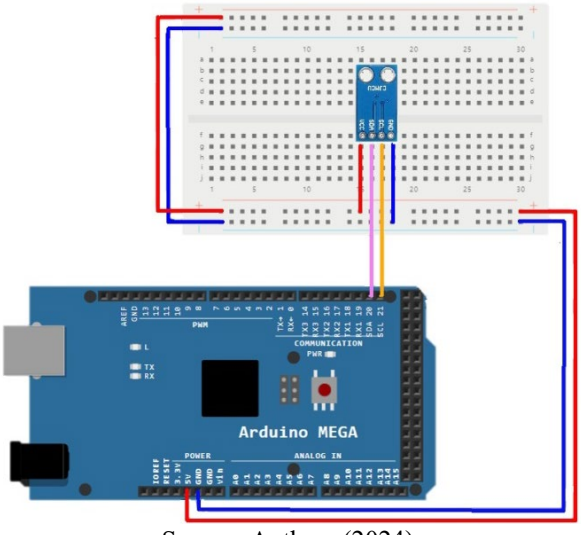
Source: Authors (2024)

Figure 3 – Detail of sensor arrange.



Source: Authors (2024)

Figure 4 – Diagram of cable placement in Arduino Microcontroller.



Source: Authors (2024)

A Multiple Linear Regression analysis was applied to make predictions of the indoor temperature. To achieve this, Microsoft Excel was utilized to read the .csv file and execute the analysis. It consisted of the application of the function LinEst, which accomplishes Multiple Linear Regression to predict the outcomes of a dependent variable based on two or more dependent variables. For this study, there were defined four terms in the equation: Known_y (known temperature values), Known_x (day time and the amount of the air conditioner was on/off), const (true or false, resulting b=0 or calculated), stats (true or false, returning values of R2 and error).

The forecast of indoor temperature was necessary to understand how the temperature is expected to perform in a controlled environment based on a reduced database. The expected temperature behavior was compared to the real temperature values to understand if it is possible to make previsions for other periods based on the acquired measures.

4. Results and Discussion.

The sensor data was obtained every five minutes during a lapse of four and a half hours. The study was accomplished on October 8th, 2024. The code utilized for reading the measurements in Arduino IDE using the ClosedCube_HDC1080 library can be seen in Figure 5.

Figure 5 – Code utilized for reading the temperature.

```
#include "ClosedCube_HDC1080.h"
#include <Wire.h>

ClosedCube_HDC1080 hdc1080;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  hdc1080.begin(0x40);
  Wire.begin(0x40);

}

void loop() {
  float temperature = hdc1080.readTemperature();
  Serial.println(temperature);
  delay(300000);
}
```

Source: Authors (2024)

After obtaining the data of the sensor, it was converted to .csv format for its proper analysis. The data delivered was in terms of time and the temperatures registered. With the data in Microsoft Excel, two more columns were created to represent the time when the air conditioner unit was on and the time when the air conditioner unit was off.

Afterward, it was applied the LinEst function, which returns a matrix with the values of Line 1 representing the coefficients of every term that can be placed in the equation of regression:

$$y = m_1 x\, X_1 + m_2 x X_2 + m_3 x X_3 + b$$

Using the least squares method to perform linear regression, it is possible to approximate the data obtained from a model that follows the equation mentioned above. In here, the dependent variable (y) is the measured temperature, the independent variables are: time (X1), time elapsed with air conditioning off (X2), and time elapsed with air conditioning on (X3).

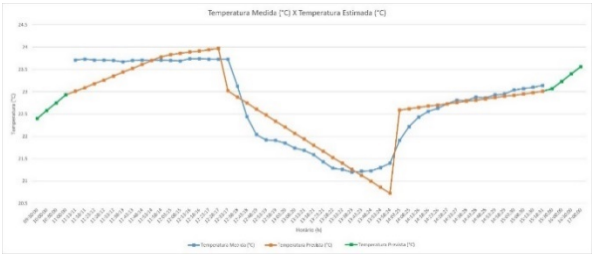
For better adjustment results, the variables relating to the functioning of the air conditioning were separated into two variables to represent the amount of time since there was a change in the device's operation, thus considering that the temperature changes gradually regarding how long it has been operating or not.

The time was normalized around 12:00h, with this being considered as 0, and the values increasing the further away they are from this time. It represents more adequately the cyclical increase in indoor temperature throughout the day. As temperatures at close times can be similar, even if separated by a change of day (for example, the temperature at 23:00h is close to that at 1:00h) this approach makes the model more accurate for predicting future temperatures. For our model, it was obtained the next equation, with an R^2 of 0.87.

$$y = -4.23x\, X_1 + 16.37 x X_2 - 30.28 x X_3 + 23.28$$

With this equation, it is possible to accomplish previsions for other values of temperature considering different times of the day. Figure 6 shows the series of temperatures measured in a period between 11:00h until 15:15h in a function (blue line), also it shows the function of the predicted temperature (orange line). In this case, a small prevision of temperature was executed from around 9:30h to 11:13h, and from 15:13h until 17:00h (green lines). The temperature values adjusted in the model, as well as their relative error can be seen in the Appendix A.

Figure 6 – Measured and Predicted temperatures by the sensor.

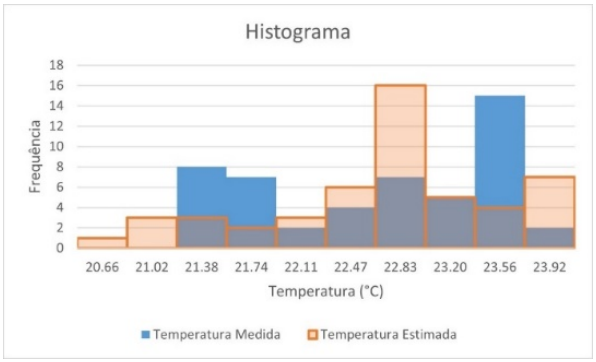


Source: Authors (2024)

In this study, the result for the variance was 0.82 was obtained for measured values, and 0.71 for estimated values. This difference may indicate that the linear regression model smoothest the dispersion of the data, not capturing all the variations in the actual measured values. This analysis is important for evaluating the model's accuracy. It is a positive indicator, since the real and estimated values were close, despite suggesting potential for improvements in the model's adjustment.

Figure 7 shows the histogram of the temperatures. The histogram of the measured temperature (blue bars) demonstrates a bimodal characteristic, being able to see the separation of two groups of data with the air conditioning on and air conditioning off, with the higher temperature measurements appearing more frequently given that during the measurement the air conditioning unit spent more time off. The estimated temperature histogram (orange bars) demonstrates the model's tendency to normalize the values, something expected for a linear regression, according to the observation of the variance being small.

Figure 7 – Histogram of the measured and predicted temperatures.



Source: Authors (2024)

The prediction of temperatures is an important aspect to consider if there is a database with a reduced number of registers. It could happen due to a series of causes, for example, for not being able to continue measuring data, for restrictions in the utilization of spaces, for loss of registers, for errors on the sensors, and so on. In front of these unexpected situations, the continuity of registers must be considered for the development of strategies to manage the appliances towards ensuring proper comfort levels and energy efficient approaches.

Indoor temperatures can be forecasted utilizing other techniques, for example, ANN. However, its reliability will depend on the size and representativeness of the database. [24]accomplished a study making previsions of temperature in a day-long study. Despite the present research did not utilize ANN, the previsions in Microsoft Excel are simpler but can be considered correct, affirming the possibility of achieving previsions following different methods.

The comfort and energy-efficient strategies in the built environment find an optimal point, for example, when an interval of temperature values is proposed as fixed, as well as the time of functioning of an air conditioner unit. In consequence, the air

conditioner in the room should not permit the temperature to surpass the limits.

In this research, the analysis of the temperature indoors permitted us to understand that the utilization of the air conditioner during an interval of less than two hours allows the maintenance of the temperature between 21ºC and 24ºC, considered as comfortable for its utilization. This condition is possible in this laboratory, considering the rest of the environmental conditions in the area.

The utilization of sensors in the built environment allows us to identify these kinds of particularities in indoor spaces. With the information in this research, it is possible to think that an air conditioner unit can be utilized in intervals of around one and a half hours every two hours, reducing the energy related to its continued consumption. Likewise, the temperature can remain fixed during the period of functioning and still offer a comfortable room, has also done by Irshad *et al.* [14] in their study. The parameters of temperature comfort obtained in this research can be confirmed as correct since they are similar to the ones studied by Nikitha *et al.,* and El-Leathey *et al.* [21], [22].

Despite the utilization of sensors and an Arduino microcontroller is already used, it is highly recommended to execute a series of analyses in the built environment, due to its simplicity and low cost, as highlighted by Abdalgader, Al Ajmi and Saini [19]. The incorporation of illuminance and humidity sensors can permit to study deeper the interaction of these conditions in the comfort levels of indoor spaces, as accomplished by Essa *et al.,* Nikitha *et al.,* and El-Leathey *et al.* [15], [21], [22].

Also, the utilization of other types of sensors in other building systems following the concept of smart homes is imperative. The necessity to automate the decision-making process to increase the building-user's well-being, or the creation of digital twins of real constructions, opens ways to continue exploring the interaction between sensors and Arduino microcontrollers.

5. Conclusions and Recommendations.

The United Nations is promoting energy transition to achieve sustainable energy goals for 2030. Studies forecast that around 80% of energy consumption would come from renewable energy systems by 2050, but for this, techniques for protection and stability assessment are necessary to implement the operation of smart energy systems [26].

The objective of this research was accomplished. It permitted the utilization of 4.0 technologies in the built environment by installing sensors in an indoor environment. It was achieved in a low-cost way considering only a microcontroller Arduino and a temperature sensor. This approach permits us to prove that the integration of new technologies can be done in a simple form, and also allows the creation of data for developing efficiency strategies in the energy systems.

Since the interpretation of the data elucidates the possibilities to enhance the appliance's performance, it is possible to affirm that the research objective was achieved.

Energy-efficient measures considering an energy-transition approach are affected by the inclusion of new technologies that can promote information exchange, reduce information asymmetry, and create knowledge spillover [5]. For this reason, the incorporation of innovators that allow the creation of cyber-physical models in the energy systems of the built environment is a current topic of interest permitting professionals to think in novel approaches.

One of the limitations of this research remains on the size of the database, which only measured temperature in a short period of time of around four hours. For this reason, it is suggested to obtain more temperature measures to enrich the model and increase its reliability. Also, with a more robust database, ANN can be applied to obtain a forecast following another approach.

Likewise, it is recommended to study other indoor conditions, such as humidity or illuminance. Another research can be done considering the integration of temperature values with both abovementioned conditions to have a more holistic understanding of the laboratory room indoor behavior.

6. References.

[1] S. Y. TENG, M. TOUŠ, W. D. LEONG, B. S. HOW, H. L. LAM, V. MÁŠA, *Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 135, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110208.

[2] F. TAHMASEBINIA, L. LIN, S. WU, Y. KANG, S. SEPASGOZAR, *Exploring the Benefits and Limitations of Digital Twin Technology in Building Energy.* Aug. 01, 2023, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/app13158814.

[3] G. SANDU, B. SAMII. *Physical asset management in the fourth industry revolution: mapping the literature for condition-based maintenance.* in 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT Asia 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. doi: 10.1109/ISGTASIA49270.2021.9715671.

[4] M. J. B. KABEYI, O. A. OLANREWAJU. *Smart grid technologies and application in the sustainable energy transition: a review*. International Journal of Sustainable Energy, vol. 42, no. 1, pp. 685–758, 2023, doi: 10.1080/14786451.2023.2222298.

[5] W. TAO, S. WENG, X. CHEN, F. B. ALHUSSAN, M. SONG. *Artificial intelligence-driven transformations in low-carbon energy structure: Evidence from China*. Energy Econ, vol. 136, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.eneco.2024.107719.

[6] D. ÇELIK, M. E. MERAL, M. WASEEM, *Investigation and analysis of effective approaches, opportunities, bottlenecks and future potential capabilities for digitalization of energy systems and sustainable development goals*. Electric Power Systems Research, vol. 211, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2022.108251.

[7] O. APATA, A. V. ADEBAYO, P. K. AINAH, *Renewable energy systems and the fourth industrial revolution.* in 2021 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Aug. 2021. doi:10.1109/PowerAfrica52236.2021.9543307.

[8] A. RASHIDI, H. SARVARI, D. W. M. CHAN, T. O. OLAWUMI, D. J. EDWARDS, *A systematic taxonomic review of the application of BIM and digital twins technologies in the construction industry*. Engineering, Construction and Architectural Management, 2024, doi: 10.1108/ECAM-02-2024-0239.

[9] S. SUHAIL, R. HUSSAIN, R. JURDAK, C. S. HONG. *Trustworthy Digital Twins in the Industrial Internet of Things With Blockchain*. IEEE Internet Comput, vol. 26, no. 3, pp. 58–67, 2022, doi: 10.1109/MIC.2021.3059320.

[10] G. MORELLI, C. MAGAZZINO, A. R. GURRIERI, C. POZZI, M. MELE, *Designing Smart Energy Systems in an Industry 4.0 Paradigm towards Sustainable Environment*. Sustainability (Switzerland), vol. 14, no. 6, Mar. 2022, doi: 10.3390/su14063315.

[11] P. LIU et al. *Analyzing energy transition for industry 4.0-driven hybrid energy system selection with advanced neural network-used multi-criteria decision-making technique*. Renew Energy, vol. 232, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.renene.2024.121081.

[12] T. TANG, D. H. YANG, L. WANG, J. R. ZHANG, T. H. YI, *Design and*

application of structural health monitoring system in long-span cable-membrane structure. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, vol. 18, no. 2, pp. 461–474, Apr. 2019, doi: 10.1007/s11803-019-0484-y.

[13] H. ZAHID, O. ELMANSOURY, R. YAAGOUBI. *Dynamic Predicted Mean Vote: An IoT-BIM integrated approach for indoor thermal comfort optimization.* Autom Constr, vol. 129, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103805.

[14] K. IRSHAD, A. ALMALAWI, A. I. KHAN, M. M. ALAM, M. H. ZAHIR, A. ALI. *An IoT-based thermoelectric air management framework for smart building applications: A case study for tropical climate*. Sustainability (Switzerland), vol. 12, no. 4, Feb. 2020, doi: 10.3390/su12041564.

[15] M. E. S. M. ESSA et al. *Reliable Integration of Neural Network and Internet of Things for Forecasting, Controlling, and Monitoring of Experimental Building Management System*. Sustainability (Switzerland), vol. 15, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15032168.

[16] D. ALEKSANDROVS-MOISEJS, A. IPATOVS, E. GRABS, D. RJAZANOVS, I. SINUKS. *Arduino-Based Temperature Sensor Organization and Design.* in 2023 Photonics and Electromagnetics Research Symposium, PIERS 2023 - Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 1408–1415. doi: 10.1109/PIERS59004.2023.10221361.

[17] A. S. BORKOWSKI. *Low-Cost Internet of Things Solution for Building Information Modeling Level 3B-Monitoring, Analysis and Management.* Journal of Sensor and Actuator Networks, vol. 13, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.3390/jsan13020019.

[18] B. MOBARAKI, S. KOMARIZADEHASL, F. J. CASTILLA PASCUAL, AJ. A. LOZANO-GALANT. *Application of Low-Cost Sensors for Accurate Ambient Temperature Monitoring*. Buildings, vol. 12, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/buildings12091411.

[19] K. ABDALGADER, R. AL AJMI, D. K. SAINI, *IoT-based system to measure thermal insulation efficiency*. J Ambient Intell Humaniz Comput, vol. 14, no. 5, pp. 5265–5278, May 2023, doi: 10.1007/s12652-020-02459-0.

[20] A. S. ROMADHON V. T. WIDYANINGRUM. *Application of Sensors in Arduino as a control in Smart Home*. in Proceeding. IEEE 8th Information Technology International Seminar, ITIS 2022, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 130–133. doi: 10.1109/ITIS57155.2022.10010217.

[21] M. NIKITHA, P. ARULPRAKASH, M. AYYANNAN, M. NITHIN, R. POKHARIYAL, R. MARANAN. *Intelligent Smart Home Automation System using Internet of Things*. in 7th International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud), I-SMAC 2023 - Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 31–36. doi: 10.1109/I-SMAC58438.2023.10290235.

[22] L. A. EL-LEATHEY, A. I. CONSTANTIN, G. CIRCIUMARU, P. ANGHELITA, R. A. CHIHAIA. *Real-Time IoT System for Monitoring of Indoor Comfort and Health in Office Buildings.* in 2024 9th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, EE and AE 2024 - Proceedings, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024. doi: 10.1109/EEAE60309.2024.10600614.

[23] C. VISVESVARAN, S. KAMALAKANNAN, K. N. KUMAR, K. M. SUNDARAM, S. M. S. S. VASAN, S. JAFRRIN. *Smart Greenhouse Monitoring System using Wireless Sensor Networks.* in Proceedings - 2nd International Conference on Smart Electronics and Communication, ICOSEC 2021, Institute

of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 96–101. doi: 10.1109/ICOSEC51865.2021.9591680.

[24] M. EL-SAYED MOHAMED MAHGOUB, N. P. VAN DER STEEN, K. ABU-ZEID, K. VAIRAVAMOORTHY. *Towards sustainability in urban water: A life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt*. J Clean Prod, vol. 18, no. 10–11, pp. 1100–1106, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.jclepro.2010.02.009.

[25] A. LI, F. XIAO, C. FAN, M. HU. *Development of an ANN-based building energy model for information-poor buildings using transfer learning.* Build Simul, vol. 14, no. 1, pp. 89–101, Feb. 2021, doi: 10.1007/s12273-020-0711-5.

[26] J. GALLEGOS, P. ARÉVALO, C. MONTALEZA, F. JURADO. *Sustainable Electrification-Advances and Challenges in Electrical-Distribution Networks: A Review.* Jan. 01, 2024, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/su16020698.

7. Appendix.

APPENDIX A

Table 1 – Temperatures measured and estimated.

Hour	Measured Temperature (ºC)	Estimated Temperature (ºC)	Relative Error	Hour	Measured Temperature (ºC)	Estimated Temperature (ºC)	Relative Error
11:13:11	23,71	23,01	2,95%	13:18:21	21,59	21,80	0,97%
11:18:11	23,73	23,09	2,70%	13:23:21	21,43	21,67	1,12%
11:23:12	23,71	23,18	2,24%	13:28:22	21,29	21,53	1,13%
11:28:12	23,71	23,26	1,90%	13:33:22	21,26	21,40	0,66%
11:33:12	23,70	23,35	1,48%	13:38:23	21,20	21,26	0,28%
11:38:13	23,67	23,44	0,97%	13:43:23	21,22	21,13	0,42%
11:43:13	23,70	23,52	0,76%	13:48:24	21,23	21,00	1,08%
11:48:14	23,71	23,61	0,42%	13:53:24	21,30	20,86	2,07%
11:53:14	23,70	23,70	0,00%	13:58:24	21,40	20,73	3,13%
11:58:14	23,71	23,78	0,30%	14:03:25	21,91	22,59	3,10%
12:03:15	23,70	23,83	0,55%	14:08:25	22,22	22,62	1,80%
12:08:15	23,69	23,86	0,72%	14:13:26	22,43	22,65	0,98%
12:13:16	23,74	23,89	0,63%	14:18:26	22,56	22,68	0,53%
12:18:16	23,74	23,91	0,72%	14:23:26	22,63	22,70	0,31%
12:23:17	23,73	23,94	0,88%	14:28:27	22,73	22,73	0,00%
12:28:17	23,73	23,97	1,01%	14:33:27	22,81	22,76	0,22%
12:33:17	23,73	23,02	2,99%	14:38:28	22,80	22,79	0,04%
12:38:18	23,13	22,88	1,08%	14:43:28	22,88	22,81	0,31%
12:43:18	22,44	22,75	1,38%	14:48:28	22,86	22,84	0,09%
12:48:19	22,04	22,61	2,59%	14:53:29	22,93	22,87	0,26%
12:53:19	21,92	22,48	2,55%	14:58:29	22,95	22,90	0,22%
12:58:19	21,91	22,34	1,96%	15:03:30	23,04	22,92	0,52%
13:03:20	21,85	22,21	1,65%	15:08:30	23,07	22,95	0,52%
13:08:20	21,74	22,07	1,52%	15:13:30	23,10	22,98	0,52%
13:13:21	21,69	21,94	1,15%	15:18:31	23,14	23,01	0,56%

Source: Authors

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Potencial de Melhoria do Desempenho Energético e Redução de Emissões Utilizando a Norma ISO 50.000

Potential for Improving Energy Performance and Reducing Emissions Using ISO 50,000

NOGUEIRA, Renzo Tanos da Silva Santos[1]; RODRÍGUEZ, Carlos Eymel Campos[2];
renzo.tanos@gmail.com[1]; carloscampos@unifei.edu.br[2];

[1]Bacharel em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itabira.
[2]Prof. Dr. em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itabira.

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Eficiência Energética
ISO 50001
ISO 50006

Keyword:
Energy Efficiency
ISO 50001
ISO 50006

Resumo:

A adoção de estratégias de eficiência energética nas cadeias produtivas é uma solução eficaz para reduzir custos e mitigar emissões de gases de efeito estufa, principais causadores da crise climática. Este estudo utiliza as metodologias das ISOs 50001 e 50006 para identificar o potencial de redução do consumo de energia em uma organização. Foi aplicado um gráfico de controle em dados de consumo de energia durante 21 meses para garantir a confiabilidade do modelo. Os indicadores avaliados foram linha de base, linha meta e índice de consumo. Com uma margem de erro de 8%, identificou-se um potencial de economia de 29,20 MWh/mês pela redução da variabilidade operacional e 87,84 MWh/mês pela redução do índice de consumo, totalizando 117,04 MWh/mês ou 1404,53 MWh/ano. Isso equivale a R$ 242.506,36 economizados e 54,07 toneladas de CO2e não emitidas. Concluiu-se que a empresa tem oportunidades de melhorar sua eficiência energética, beneficiando-se da implementação das normas.

Abstract

The adoption of energy efficiency strategies in production chains is an effective solution to reduce costs and mitigate greenhouse gas emissions, the main causes of the climate crisis. This study uses the methodologies of ISOs 50001 and 50006 to identify the potential for reducing energy consumption in an organization. A control chart was applied to energy consumption data over 21 months to ensure the reliability of the model. The evaluated indicators were baseline, target line, and consumption index. With a margin of error of 8%, a potential saving of 29.20 MWh/month was identified by reducing operational variability and 87.84 MWh/month by reducing the consumption index, totaling 117.04 MWh/month or 1404.53 MWh/year. This equates to R$ 242,506.36 saved and 54.07 tons of CO2e not emitted. It was concluded that the company has opportunities to improve its energy efficiency, benefiting from the implementation of the standards.

1. Introdução

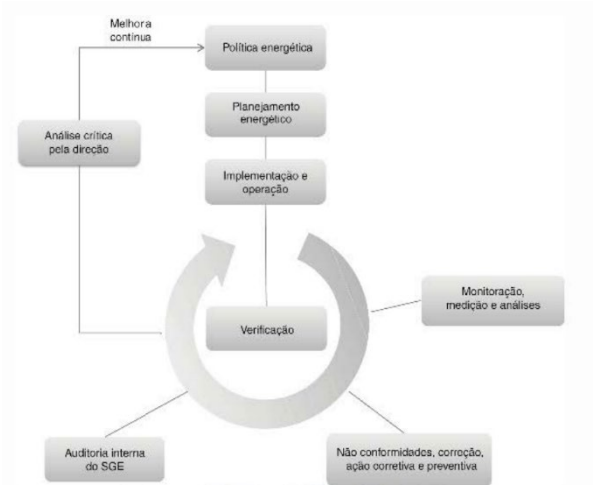
Na 21ª Conferência das Partes (COP21), foi assinado por 196 países o Acordo de Paris, que tem como objetivo geral limitar o aumento da temperatura média global a 2 ºC acima dos níveis pré-industriais; contudo, os países devem buscar evitar o aumento de 1,5 ºC, visto que ultrapassar esse limite pode gerar impactos severos resultantes de eventos climáticos extremos [1]. Em 2023, o primeiro inventário global baseado nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) dos países aderentes reconheceu que as emissões globais de gases de efeito estufa devem ser reduzidas em 43% até 2030, em 60% até 2035, e em 100% até 2050 [2]. O Brasil atualizou sua NDC em 2023, estabelecendo o compromisso de reduzir suas emissões em 48% até 2025, e em 53% até 2030 (ambos comparados às emissões em 2005) [3].

A eficiência energética é a razão ou outra relação quantitativa entre uma saída de desempenho, serviços, produtos ou energia e uma entrada de energia [4]. A promoção de medidas de eficiência energética utilizando conceitos de engenharia, economia e administração traz uma perspectiva metodológica ao processo de implementação [5]. Eficiência energética é usar menor energia para realizar o mesmo trabalho, seja através de mudanças nas tecnologias ou na gestão do uso [6]. Junto com energias renováveis, hidrogênio, biomassa e eletrificação, as ações voltadas para eficiência energética são as condutoras da transição energética. Estas medidas podem reduzir o consumo de energia, as emissões associadas à processos existentes e fomentar práticas de economia circular [7].

A norma ISO 50001 especifica requerimentos para um sistema de gerenciamento de energia que permita qualquer organização implementar e manter melhorias nas suas performances energéticas [8]. Além disso, com um sistema de gestão da energia, os processos da norma seriam adicionados à estrutura organizacional, e não seriam perdidos no caso da saída de um funcionário ou especialista técnico [9]. A ISO 50001 pode resultar em aproximadamente 16 EJ de economia anual de energia primária, e 1.000 MTon. de emissões anuais de CO2e evitadas [10].

Esta norma define um modelo de sistema de gestão da energia (SGE) que segue o fluxograma da figura 1.

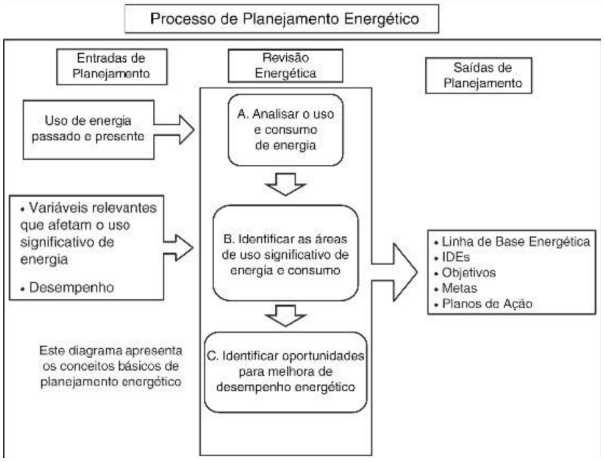
Figura 1– Modelo de Sistema de Gestão da Energia para a Norma ISO 50001.



Fonte: ISO [4]

O planejamento energético deve estar alinhado à política energética, e deve ter caráter de melhoria contínua (PDCA). A figura 2, demonstra um diagrama conceitual do processo de planejamento energético. Para a realização deste estudo, é necessário definir "uso e consumo da energia", linha de base energética, linha meta e indicadores de desempenho energético (IDEs).

Figura 2 – Diagrama conceitual de processo de planejamento energético.



Fonte: ISO [4]

Através dos indicadores de desempenho energético (IDE) se determina se os objetivos e planos energéticos estão sendo alcançados. A ISO 50006 apresenta ferramentas e procedimentos para se medir a performance energética através de IDEs [11].

É possível definir os IDEs a partir de três tipos genéricos: valor mensurado, relação e baseado em modelo. Para calcular as mudanças na performance energética são indicadas três abordagens mais comuns: diferença energética, porcentagem de mudança, comparação por relação [11]. Neste trabalho, o potencial global de melhoria do desempenho energético será a soma do potencial de melhoria por redução da variabilidade operacional com o potencial de melhoria por redução do índice de consumo.

A redução da variabilidade operacional baseia-se no histórico de consumo energético, evidenciando as operações que apresentaram altos e baixos consumos. Para ocorrer a redução, se deve criar estratégias para replicar as condições operacionais otimizadas, buscando alcançar os objetivos da linha meta. A redução do índice de consumo (consumo de energia/produção) é alcançada ao identificar o valor mínimo deste índice referente ao nível de produtividade de um determinado sistema, máquina ou processo.

O objetivo deste trabalho é determinar o potencial de economia energética de uma empresa, baseado no processo de análise de desempenho energético das normas ISO 50001 e ISO 50006, e associar o resulto à redução de emissões de gases de efeito estufa.

2. Métodos

Deve-se seguir as orientações de planejamento da ISO 50001 e de definição dos IDEs da ISO 50006. Cada organização levará em consideração suas especificidades produtivas para definir quais são os IDEs que melhor representam o seu consumo energético [4]. Serão utilizados os indicadores "linha de base e linha meta energética", e "índice de consumo".

A base de dados utilizada para este estudo é referente ao histórico de consumo energético e produção da empresa, portanto, a revisão energética se deve iniciar com a análise de uso e consumo de energia [4]. O procedimento seguirá conforme a seguir:

a. Plotar um gráfico em linha, com o consumo energético e produção (eixo secundário) da planta/equipamento/processo, em função do período em que estes dados foram aferidos;

b. Plotar um gráfico de controle estatístico [12] com a variável "produção", pois esta será comumente utilizada como variável independente;

c. Plotar um gráfico de dispersão do consumo energético (eixo Y) em função da produção (eixo X). Realizar a regressão linear dos pontos, e identificar o coeficiente de determinação (R^2) [13];

d. Realizar a filtragem dos dados para atender aos critérios estatísticos, respeitando o nível mínimo de amostra em função do nível de confiança [13]. Neste estudo, a filtragem será feita para atender aos critérios de Western Electric enquanto se maximiza o R^2 da linha base;

Para calcular o potencial de economia por redução da variabilidade operacional, segue-se o passo a passo [4]:

e. Identificar os pontos de consumo abaixo da linha meta. A linha meta será a regressão linear dos pontos abaixo da linha da base. Ela terá sua própria equação e R^2;

f. Subtrair (ponto a ponto) a equação de regressão da linha base pela equação de regressão da linha meta. Considerar este potencial como a média aritmética simples dos potenciais em todo o período analisado.

Para calcular o potencial de economia por redução do índice de consumo, segue o proposto:

g. Identificar os índices de consumo reais para cada nível de produção (consumo real/produção real);

h. Identificar os índices de consumo da linha base (utilizando a equação de linha base rearranjada):

$$IC_{LB} = \frac{E}{P} = \beta_1 + \frac{\beta_0}{x} \qquad (1)$$

Onde:

ICLB = Índice de Consumo da linha base (MWh/Ton)
E = Consumo de Energia (MWh/mês)
P = Toneladas processadas (Ton/mês)
β_0 = Coeficiente linear da linha base
β_1 = Coeficiente angular da linha base

i. Plotar um gráfico de dispersão dos índices de consumo real (ICreal) e linha base (ICLB) em função da produção;

j. Encontrar a produção crítica através do método gráfico ou analítico (mais detalhes na seção 3);

k. Calcular o potencial de economia multiplicando a produção média pela diferença entre o índice de consumo médio e o índice de consumo da produção crítica (mais detalhes na seção 3).

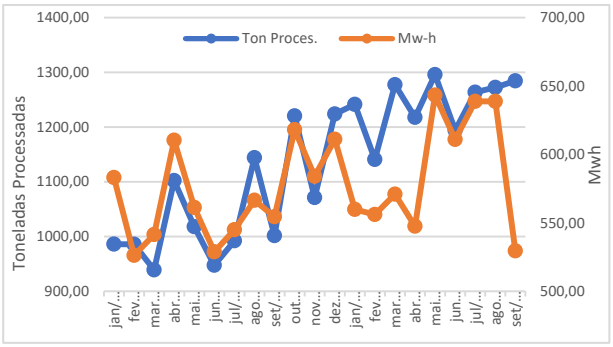
3. Resultados e discussão

3.1 Análise de uso e consumo da energia

A implementação de um sistema de gestão de energia, conforme as normas ISO 50001 e ISO 50006, é aplicável a qualquer organização, independentemente de tamanho e setor [4]. Serão utilizados dados de uma empresa frigorífica no Brasil que nunca teve um sistema de gestão de energia. Os dados analisados para economia não foram tratados e nem submetidos a condições previas de controle de processos. As toneladas processadas referem-se à produção mensal, enquanto o consumo energético abrange toda a energia utilizada pela organização, incluindo tanto o consumo diretamente ligado à produção quanto o não diretamente ligado. A entrada de energia provém do uso de energia elétrica do SNI. Foram aferidos, mensalmente, 21 valores de toneladas processadas (saída em termos de produção) e o consumo relativo à produção do mês em megawatts-hora (ANEXO A).

Os critérios adotados para o modelo matemático dos indicadores de desempenho energético são: o nível mínimo de amostra em função do nível de confiança (n), o gráfico de controle estatístico de processos, e o coeficiente de determinação (R^2).

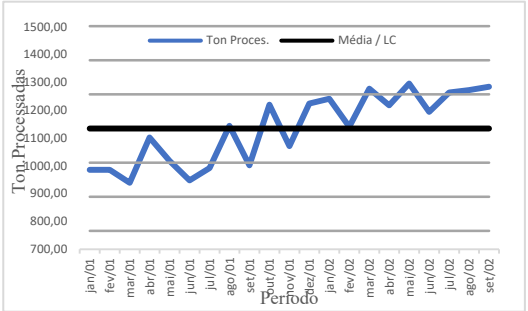
Figura 3 - Toneladas processadas e consumo energético do sistema em função do período de recolhimento dos dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da empresa apresentar resultados favoráveis de eficiência, enfrenta dificuldades em controlar seu consumo, especialmente em abr/01, out/01 e mai/02. Há também incongruências entre produção e consumo nos meses fev/01, mar/01, jan/02, ago/02 e set/02. O gráfico de controle estatístico, conforme o ANEXO A, foi utilizado para avaliar a produção, alinhando-se ao objetivo de reduzir o consumo sem comprometer a produtividade. A curva de produção foi traçada, com a linha central representando a média de toneladas processadas (1134,47) e limites de 1σ, 2σ e 3σ, onde σ = 112,63.

Figura 4 - Controle estatístico referente à produção (Ton. Processadas).

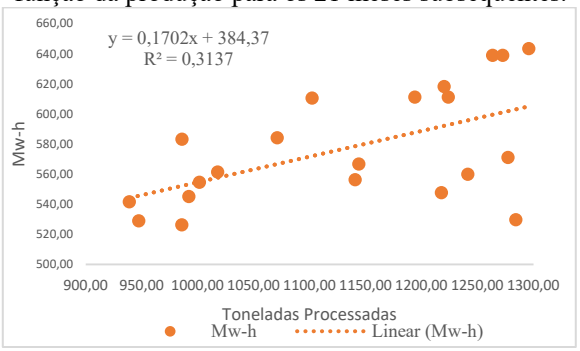


Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de dezembro do ano 1 (dez/01), observa-se que 9 pontos consecutivos estão do lado superior da linha central, logo, consoante os critérios da regra 4 de Western Electric [12], este processo não está sob controle por um viés estatístico, o que sustenta o argumento sobre a carência de um sistema de gestão de energia.

Plotando a dispersão dos pontos da tabela 2, identifica-se que o valor de R^2 calculado equivale a 31,37% de ajuste (figura 5). Como a organização não aplica métodos de controle nem possui um sistema de gestão de energia, é possível excluir dados para melhorar o ajuste à reta. Em aplicações comerciais, a exclusão deve ser acordada pela empresa mediante justificativa. Neste estudo, será analisado apenas o comportamento gráfico e o atendimento aos critérios estabelecidos.

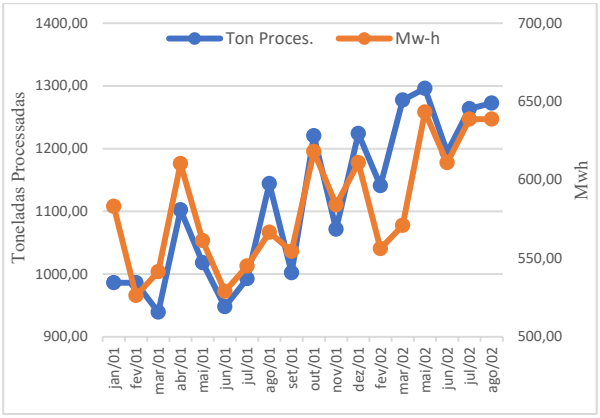
Figura 5 – Dispersão do consumo energético em função da produção para os 21 meses subsequentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

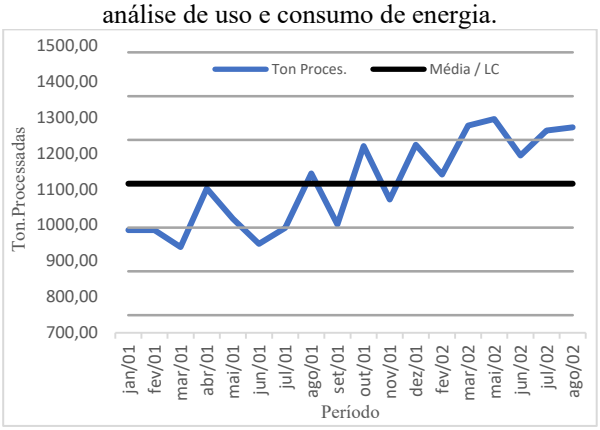
A hipótese final considerou o estudo com um nível de confiança dos dados de 92%, onde o nível mínimo de amostra (n=17,99) permite a exclusão de 3 pontos. Foram feitas iterações de exclusão, e se conclui que os seguintes períodos sejam desconsiderados da análise: fev/02, abr/02 e set/02. A partir deste ponto, os dados utilizados não contaram com estes meses, sendo eles desconsiderados do ANEXO A. Com isso, a análise estatística após filtragem fica sendo considerada como nas figuras 6, 7 e 8 a seguir.

Figura 6 - Toneladas processadas e consumo energético do sistema em função do período após a análise de uso e consumo.



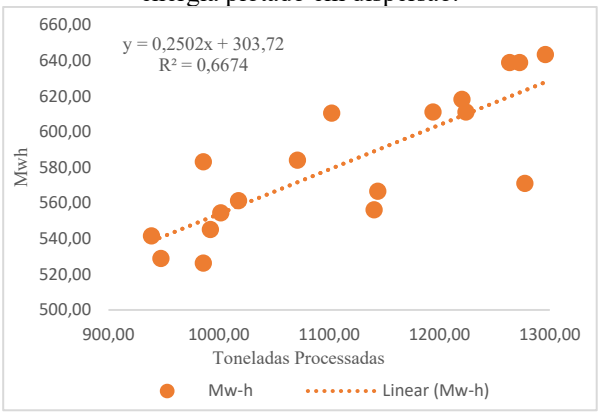
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 - Controle estatístico referente à produção (Ton. Processadas) considerando os meses após a análise de uso e consumo de energia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Linha de base energética e consumo de energia plotado em dispersão.



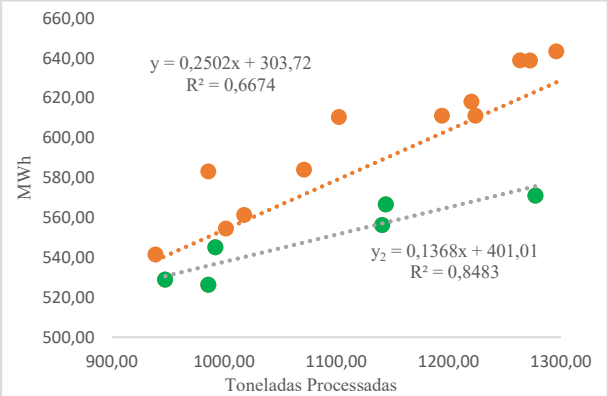
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Potencial por redução da variabilidade operacional

Neste cálculo de potencial serão utilizadas as linhas base (figura 8) e meta energética. Para isto, a variável independente é dada em toneladas processadas de produto da planta como um todo, haja vista que desta forma se garante que o nível de produção não afetará diretamente o consumo energético.

A partir da construção da linha base de energia, é evidenciada a variabilidade de consumo energético para um determinado nível de produção, causado pela variação dos parâmetros operacionais do sistema. Com isso, a linha de meta energética é a representação dos melhores comportamentos de consumo energético, e no gráfico ela é traduzida como os pontos plotados abaixo da linha base [14]. A linha meta tem sua própria equação de regressão linear dos pontos abaixo da linha de base.

Figura 9 - Linha de base energética e linha meta.

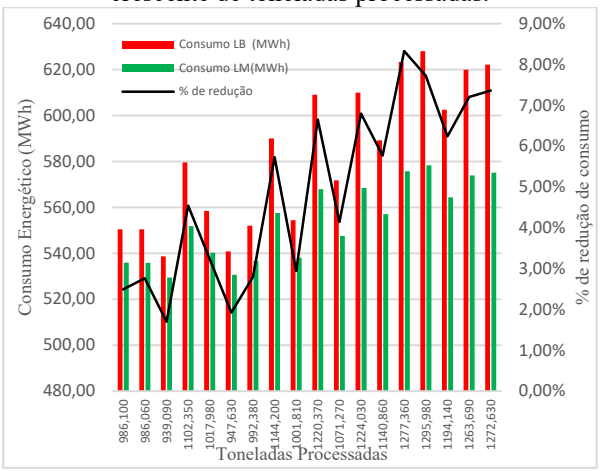


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 9, observa-se que $R^2(y)$ =0,6674 ou 66,74%, e $R^2(y2)$ = 0,8483 ou 84,83%, logo, os valores de R^2 para linha base e linha resultam em uma análise de dados com uma regressão útil, constando ainda com uma relação forte (acima de 75%) para a linha meta [15].

Os valores obtidos para o cálculo do potencial de economia por redução da variabilidade operacional não se devem a qualquer troca de tecnologia. Os resultados são observados no ANEXO B, enquanto a visualização gráfica está presente na figura 10 a seguir.

Figura 10 - Dados do ANEXO B plotados em ordem crescente de toneladas processadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 10 demonstra o consumo energético ao aplicar a produção (como variável independente) na equação de linha base para cada produção real aferida (barras vermelhas). Também se observa o consumo de energia ao se operar na linha meta (barras verdes), calculado utilizando a mesma lógica. A linha preta é a porcentagem de redução energética em cada mês aferido.

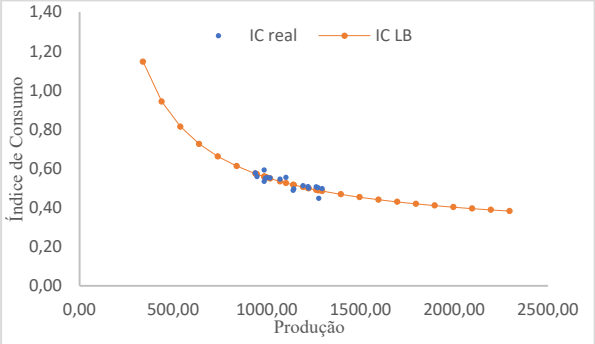
Dentro dos 18 períodos avaliados após a análise de uso e consumo de energia, o potencial médio de economia por variabilidade operacional resultou em 29,20 MWh/mês (cerca de 4,9% ao mês), o que equivale a uma média de economia energética de **350,41 (±28,03) MWh/ano.**

3.3 Potencial por redução do índice de consumo

Para este estudo, o IDE baseado em relação utilizado será o índice de consumo, que é a variação do consumo de energia por tonelada produzida. Assim, é possível conhecer o valor partir da qual a quantidade de consumo energético por unidade de produção é mínima, portanto, também são os custos produtivos atrelados ao gasto energético.

Ao traçar uma linha base para o índice de consumo com os valores reais de produção, obtém-se a variação do consumo energético relacionada apenas à quantidade produzida (ICreal). Para comparação, pode-se criar uma linha de índice de consumo considerando essa variabilidade (ICLB). Na figura 11, foram utilizados dados do ANEXO C, estendendo o intervalo de toneladas processadas para ICLB, com uma progressão de -100 toneladas a partir do menor valor e +100 toneladas a partir do maior (linha vermelha), visando avaliar o estado produtivo atual da empresa em cenários quantitativos mais amplos e visualizar o comportamento gráfico.

Figura 11 – Índice de consumo real (IC_{real}) e índice de consumo da linha base (IC_{LB}) em função da produção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura anterior, foi identificado que o menor valor de "ICreal" é 0,447 MWh/ton (melhor desempenho), o maior é 0,591 MWh/ton, e a média é 0,52 MWh/ton. A média dos valores de IC se encontra mais próxima do IC máximo do que do IC mínimo, indicando cenários com oportunidades de melhoria.

Calcular o potencial de redução do índice de consumo significa identificar os cenários de menores índices e pouca variabilidade dos ICs, para que assim as operações possam ser priorizadas dentro desta faixa. Pela abordagem metodológica, deve-se identificar a produção crítica, ou seja, a quantidade produzida a partir do qual o Índice de Consumo da Linha de Base atinge um valor mínimo com variação subsequente muito baixa.

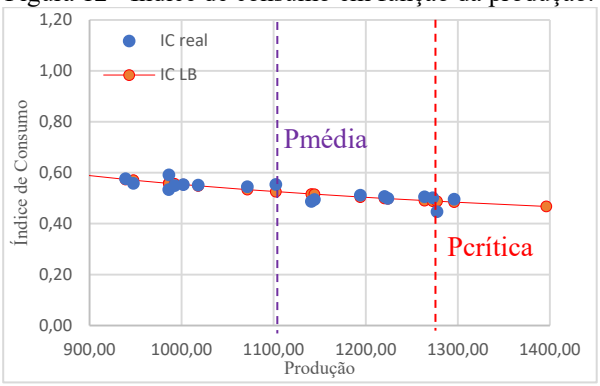
Para identificar a produção crítica, irá ser adotado o método gráfico, seguindo a proposta de diferença energética [11]. Usa-se preferencialmente o valor da produção crítica para concluir o mínimo cenário de economia possível. Será seguida a equação:

$$P_m * (IC_m - IC_{crit}) = Potencial\ de\ economia\ (MWh) \qquad (2)$$

P_m = Produção média da base de dados filtrada (Ton. Processadas);
IC_m = Índice de consumo médio da base de dados filtrada (MWh/Ton);
IC_{crit}= Índice de consumo na produção crítica (MWh/Ton).

A figura 12 é uma aproximação visual da figura 11. A linha tracejada roxa vertical é o ponto de índice de consumo médio. A linha tracejada vermelha vertical é o ponto de índice de consumo crítico.

Figura 12 - Índice de consumo em função da produção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela análise da figura 12, é possível observar que o menor índice de consumo se destaca no intervalo produtivo entre 1250 e 1300 toneladas processadas, equivalendo à 0,45 MWh/ton. Desta forma, conclui-se que a produção crítica equivale a 1277,36 toneladas processadas. Com isso, aplicando a equação 2, com Pmédio = 1115,444 ton, IC_m = 0,52 MWh/ton., e $IC_{crít.}$= 0,45 MWh/ton, é calculado um potencial por redução do índice de consumo equivalente a **87,84 MWh/mês**,

em média, ou seja, **1.054,12 (±84,33) MWh/ano.**

3.4 Potencial global de melhoria do desempenho energético

O potencial global de economia é a soma de todos os potenciais parciais previamente calculados. Foi calculado um potencial de economia de energia por redução da variabilidade operacional de 350,41 (±28,03) MWh/ano, e um potencial de economia por redução do índice de consumo de 1.054,12 (±84,33) MWh/ano, resultando em um potencial global de 1.404,53 (±112,36) MWh/ano. Em média, a aplicação das medidas de eficiência energética pode gerar para a empresa uma economia de energia elétrica de aproximadamente 20% por ano (ANEXO D).

Para calcular o potencial de redução de emissões, utiliza-se o fator de emissão disponibilizado pelo MCTI em 2023, sendo 0,0385 tCO2e/MWh, o que resulta em um potencial de redução de 54,07 (±4,33) tCO2e/ano [16]. Esta quantidade de emissões é aproximadamente equivalente à construção de 3 residências unifamiliares de 80m² [17], ou então, 240 viagens de carro à gasolina, 75 viagens de ônibus, ou 280 viagens de avião ida e volta entre Goiânia e Rio de Janeiro [18].

Por outro lado, para calcular o potencial de redução de custos, multiplica-se o mesmo potencial global de economia pelo custo média da tarifa de energia (TE) elétrica no Brasil, que equivale a 172,66 R$/MWh. As condições deste valor são as que seguem [19]:

- Fim da vigência da TE no ano de 2023;
- Subgrupos A1, A2 e A3 (unidades consumidoras de alta tensão);
- Modalidade Bandeira Azul;

Portanto, o resultado em economia de capital é de 242.506,15 (±19.400,51) R$/ano.

4. Considerações finais

O cálculo de potencial de economia baseado nas normas ISO 50001 e ISO 50006 em uma empresa frigorífica brasileira resultou em economias significativas nos custos de energia e na redução de emissões de gases de efeito estufa. O estudo considerou dados reais de consumo energético e produção ao longo de 21 meses, com uma margem de erro de 8%.

Com a adoção de medidas de controle e priorização de operações em zonas de baixos índices de consumo, o potencial global de economia energética varia entre 1292,17 e 1516,89 MWh/ano (aproximadamente 20% ao mês), resultando em uma redução de 54,07 (±4,33) tCO2e/ano e uma economia de cerca de R$ 242.506,26 por ano.

O trabalho destacou a importância de métodos estatísticos, como gráficos de controle e regressões lineares, para identificar potenciais de economia energética. A escolha adequada dos índices de consumo permite que analistas verifiquem mudanças no consumo e na eficiência de energia.

A análise sugere que a empresa considere a certificação ISO 50001 e 50006, avaliando aspectos estratégicos, econômicos e de sustentabilidade. A adesão rigorosa aos passos estabelecidos nas normas é crucial para resultados eficazes. Os dados refletem cenários passados e não incluíram análises conjuntas com representantes da empresa, mas o verdadeiro valor das normas está no monitoramento contínuo das condições de uso e consumo de energia.

Recomenda-se que a empresa implemente uma coleta diária de dados para aumentar a precisão do modelo. Futuros trabalhos podem incluir a lista de equipamentos e áreas de maior consumo energético, aplicando o Diagrama de Pareto para identificar os principais consumidores. Também é sugerido o mapeamento de parâmetros operacionais que afetam o desempenho energético dos equipamentos, permitindo uma melhor compreensão da influência operacional e das condições ambientais no consumo final de energia.

5. Referências

[1] ONU. Organização das Nações Unidas. *Paris Agreement.* Unfcc.int, 2015.

[2] ONU. *Framework Convention on Climate Chance. First global stocktake: Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement. Outcome of the first global stocktake*, [S. l.], p. 1-21, 13 dez. 2023.

[3] GOVERNO FEDERAL (Brasil). Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática. *Marina anuncia na ONU correção da meta climática brasileira*. Gov.br, 21 set. 2023.

[4] ISO (Rio de Janeiro). *ABNT. ABNT NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso.* [S. l.: s. n.], 2011. 1-32 p.

[5] SANTOS, A. H. M et al. Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. 3ª. ed. [S. l.: s. n.], 2006.

[6] KHAN, A. et al. *Efficacy of CO2 emission reduction strategies by countries pursuing energy efficiency, nuclear power, and renewable electricity. Energy*, Science Direct, v. 300, p. 131418, 23 abr. 2024.

[7] IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2023. *Tracking SDG 7: The Energy Progres*s Report. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO).

[8] FUCHS, H. et al. *Identification of drivers, benefits, and challenges of ISO 50001 through case study content analysis.* Energy Policy, Science Direct, v. 142, p. -, 28 abr. 2020.

[9] TZIPERMAN, E. GLOBAL WARMING SCIENCE: *A Quantitative Introduction to Climate Change and Its Consequences.* [S. l.]: PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 2022.

[10] MCKANE, A. et al. *Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. Energy Policy*, Science Direct, v. 107, p. 278-288, 4 maio 2017.

[11] ISO. ISOCD 50006 *Measuring Energy Performance using Energy Baselines & Energy Performance Indicators*. ISO TC 242 N 120. ed. [S. l.: s. n.], 2012. 1-54 p.

[12] MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Fifth Edition. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2011. 790 p.

[13] MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. *Introduction to Linear Regression Analysis*. Fifth Edition. ed. [S. l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2012. 872 p.

[14] BATLLE, E. A. O. et al. *A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study, Federal University of Itajuba (UNIFEI)*. Journal of Cleaner Production, [S. l.], p. 1-18, 24 set. 2019.

[15] QUININO, R. C.; REIS, E. A.; BESSEGATO, L. F. *O coeficiente de determinação R2 como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla*. Belo Horizonte: UFMG, 1991.

[16] MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (Brasília). *Fator médio - Inventários corporativo*s. Fatores de emissão MDL/SIN, 2024.

[17] LIMA, E. M. de et al. *Quantificação de co2 emitido decorrente dos materiais empregados na construção de uma residência unifamiliar*. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2018, [S. l.], 21 ago. 2018.

[18] PEREIRA, R. P. T.; GALO, N. R. *Análise das emissões de alternativas de transporte turístico de um participante*

do 20º Rio de Transportes. Revista de Administração, Sociedade e Inovação (RASI), [S. l.], v. 10, n. 2. 7 maio 2024. DOI https://doi.org/10.20401/rasi.10.2.913.

[19] ANEEL (Brasil). Governo Federal. *Base de Dados das Tarifas das Distribuidoras de Energia Elétrica*. https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras, 2024b.

6. Anexos e Apêndices

ANEXO A

Tabela 1 - Dados aferidos de toneladas processadas e consumo de energia em 21 meses

Período	Ton Proces.	Mwh	Período	Ton Proces.	Mwh
jan/01	986,10	583,14	dez/01	1224,03	611,06
fev/01	986,06	526,26	jan/02	1241,53	559,84
mar/01	939,09	541,48	fev/02	1140,86	556,19
abr/01	1102,35	610,45	mar/02	1277,36	571,00
mai/01	1017,98	561,26	abr/02	1217,91	547,55
jun/01	947,63	528,86	mai/02	1295,98	643,34
jul/01	992,38	545,07	jun/02	1194,14	611,04
ago/01	1144,20	566,59	jul/02	1263,69	638,83
set/01	1001,81	554,47	ago/02	1272,63	638,81
out/01	1220,37	618,13	set/02	1284,43	529,61
nov/01	1071,27	584,04			

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO B

Tabela 2 – Cálculo do potencial de economia base na redução da variabilidade operacional ao atingir o consumo da linha meta.

Período	Produção	Consumo Real (MWh)	Consumo LB (MWh)	Consumo LM (MWh)	Potencial de economia (MWh)	% de redução
jan/01	986,100	583,140	550,44	535,91	14,53	2,49%
fev/01	986,060	526,260	550,43	535,90	14,53	2,76%
mar/01	939,090	541,480	538,68	529,48	9,20	1,70%
abr/01	1102,350	610,450	579,53	551,81	27,72	4,54%
mai/01	1017,980	561,260	558,42	540,27	18,15	3,23%
jun/01	947,630	528,860	540,82	530,65	10,17	1,92%
jul/01	992,380	545,070	552,01	536,77	15,25	2,80%
ago/01	1144,200	566,590	590,00	557,54	32,46	5,73%
set/01	1001,810	554,470	554,37	538,06	16,32	2,94%
out/01	1220,370	618,130	609,06	567,96	41,10	6,65%
nov/01	1071,270	584,040	571,75	547,56	24,19	4,14%
dez/01	1224,030	611,060	609,97	568,46	41,52	6,79%
fev/02	1140,860	556,190	589,16	557,08	32,08	5,77%
mar/02	1277,360	571,000	623,32	575,75	47,56	8,33%
mai/02	1295,980	643,340	627,97	578,30	49,67	7,72%
jun/02	1194,140	611,040	602,49	564,37	38,13	6,24%
jul/02	1263,690	638,830	619,90	573,88	46,01	7,20%
ago/02	1272,630	638,810	622,13	575,11	47,03	7,36%

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO C

Tabela 3 – Cálculo dos índices de consumo real (ICreal) e índice de consumo da linha base (ICLB), em função da produção.

Período	Produção	Consumo Real (MWh)	ICreal (MWh/ton)	ICLB (MWh/ton)
jan/01	986,100	583,140	0,591	0,558
fev/01	986,060	526,260	0,534	0,558
mar/01	939,090	541,480	0,577	0,574
abr/01	1102,350	610,450	0,554	0,526
mai/01	1017,980	561,260	0,551	0,549
jun/01	947,630	528,860	0,558	0,571
jul/01	992,380	545,070	0,549	0,556
ago/01	1144,200	566,590	0,495	0,516
set/01	1001,810	554,470	0,553	0,553
out/01	1220,370	618,130	0,507	0,499
nov/01	1071,270	584,040	0,545	0,534
dez/01	1224,030	611,060	0,499	0,498
fev/02	1140,860	556,190	0,488	0,516
mar/02	1277,360	571,000	0,447	0,488
mai/02	1295,980	643,340	0,496	0,485
jun/02	1194,140	611,040	0,512	0,505
jul/02	1263,690	638,830	0,506	0,491
ago/02	1272,630	638,810	0,502	0,489

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO D

Tabela 4 – Resultado do potencial de economia de energia global.

Período	MWh Cons. (real)	Potencial de economia por redução da variabilidade operacional	Potencial de economia por redução do índice de consumo	MWh pós economia	% de economia
jan/01	583,14	14,53	87,84	480,76	17,56%
fev/01	526,26	14,53	87,84	423,89	19,45%
mar/01	541,48	9,20	87,84	444,43	17,92%
abr/01	610,45	27,72	87,84	494,89	18,93%
mai/01	561,26	18,15	87,84	455,27	18,88%
jun/01	528,86	10,17	87,84	430,85	18,53%
jul/01	545,07	15,25	87,84	441,98	18,91%
ago/01	566,59	32,46	87,84	446,28	21,23%
set/01	554,47	16,32	87,84	450,31	18,79%
out/01	618,13	41,10	87,84	489,19	20,86%
nov/01	584,04	24,19	87,84	472,00	19,18%
dez/01	611,06	41,52	87,84	481,70	21,17%
fev/02	556,19	32,08	87,84	436,26	21,56%
mar/02	571,00	47,56	87,84	435,59	23,71%
mai/02	643,34	49,67	87,84	505,82	21,38%
jun/02	611,04	38,13	87,84	485,07	20,62%
jul/02	638,83	46,01	87,84	504,97	20,95%
ago/02	638,81	47,03	87,84	503,94	21,11%

Fonte: Elaborado pelo autor

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Eficiência Energética em Universidades Federais Brasileiras: As Principais Práticas adotadas

Energy Efficiency in Brazilian Federal Universities: The Main Practices Adopted

DE ALMEIDA, Taísa Caetano Sousa Melo[1]; LOPES, Maria Aparecida de Oliveira[1]; QUEIROZ, Luciara Farias[1]; RIBEIRO, Fábio Faraj[2]; PINTO, Augusto Eduardo Miranda[3]; DA COSTA, Bruno Barzellay Ferreira[4].

taisacaetano01@gmail.com[1]; mariahlopez1345@gmail.com[1]; luciaraque@gmail.com[1]; fabiofaraj@ufrj.br[2]; apinto@iff.edu.br[3].; bruno.barzellay@macae.ufrj.br[4].

[1]Mestranda de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé - RJ.
[2]Msc. em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé - RJ
[3]D.Sc em Direito, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense - IFF, Macaé - RJ.
[4]D.Sc. em Engenharia Civil, Instituto Politécnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Macaé - RJ

Informações do Artigo

Palavras-chave:
Eficiência Energética
Universidades Federais
Sustentabilidade

Keywords:
Energy Efficiency
Federal Universities
Sustainability

Resumo:

O desenvolvimento sustentável é um desafio global que envolve instituições públicas e privadas, assim como a sociedade civil, em iniciativas voltadas para a mitigação dos impactos ambientais causados pelo aquecimento global. Nesse sentido, as práticas de eficiência energética representam uma estratégia eficaz para reduzir o consumo de recursos naturais, diminuir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade em diversos setores. Esta pesquisa busca identificar quais práticas de eficiência energética são realizadas pelas universidades federais, que são objeto deste estudo. Para alcançar o objetivo proposto, foi realizada uma revisão de literatura de natureza exploratória. Em seguida, foi feito um levantamento de dados nos sites oficiais das universidades federais brasileiras, seguindo critérios estruturados de busca previamente definidos. Os resultados apontaram para as principais práticas de eficiência energética, tais como, a instalação de usinas de energia fotovoltaicas, a substituição de equipamentos de baixa eficiência energética por aparelhos com tecnologias mais eficientes, a substituição de lâmpadas convencionais (incandescentes e fluorescentes), por lâmpadas de LED, e a instalação de sensores inteligentes.

Abstract

Sustainable development is a global challenge that involves public and private institutions, as well as civil society, in initiatives aimed at mitigating the environmental impacts caused by global warming. In this context, energy efficiency practices represent an effective strategy to reduce the consumption of natural resources, decrease greenhouse gas emissions, and promote sustainability across various sectors. This research seeks to identify which energy efficiency practices are being implemented by federal universities, the subject of this study. To achieve

the proposed objective, an exploratory literature review was conducted. Following this, data was collected from the official websites of Brazilian federal universities, following structured search criteria previously defined. The results pointed to key energy efficiency practices, such as the installation of photovoltaic power plants, the replacement of low-energy-efficiency equipment with devices featuring more efficient technologies, the replacement of conventional light bulbs (incandescent and fluorescent) with LED bulbs, and the installation of smart sensors

1. Introdução

O desenvolvimento sustentável é um desafio global, que envolve tanto as instituições públicas e privadas, quanto a sociedade civil na promoção da sustentabilidade. Nesse sentido, destaca-se que a ideia de sustentabilidade está relacionada a atender às necessidades da sociedade atual, sem, contudo, colocar em risco essas mesmas necessidades para gerações futuras, conforme foi definido no Relatório *Brundtland*, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, intitulado "Nosso Futuro Comum" [1]. Esse conceito também está expresso na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225, o qual impõe ao poder público e à coletividade o dever de garantir a preservação e proteção do meio ambiente para as gerações presentes e futuras, garantido que todos os cidadãos têm o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado [2].

Convém destacar que a sustentabilidade foi consolidada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), resultando na publicação da Agenda 21. Em setembro de 2000, na cidade de Nova York, ocorreu a Cúpula do Milênio das Nações Unidas, reunindo líderes mundiais que adotaram a Declaração do Milênio da ONU, estabelecendo os oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) a serem alcançados até 2015 [3].

Posteriormente, em setembro de 2015, a ONU lançou a Agenda 2030, com o compromisso dos países-membros alcançarem 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas [4]. Nesse contexto, salienta-se que os ODS também são chamados de Objetivos Globais, como um chamado universal à ação, visando erradicar a pobreza, proteger o planeta e assegurar que, até 2030, todas as pessoas tenham acesso à paz e à prosperidade. Dentre esses 17 ODS estabelecidos, o sétimo refere-se à Energia Limpa e Acessível, o que está diretamente relacionado ao objetivo deste estudo, que é identificar quais práticas de eficiência energética estão sendo realizadas nas Universidades Federais.

A eficiência energética busca alcançar resultados iguais ou superiores com um consumo reduzido de energia, garantindo a preservação do conforto e da produção [5]. Desse modo, para Lima e *Hamzagic* [6], o objetivo da eficiência energética é reduzir as emissões de carbono, por meio do uso responsável da energia gerada.

No âmbito das organizações públicas, assim como em outros setores da economia, é imprescindível que existam iniciativas para impulsionar o consumo responsável no uso dos recursos naturais [7]. Nesse contexto, as instituições de ensino superior são fundamentais no desenvolvimento da sustentabilidade. Segundo Leal Filho [8], as universidades contribuem significativamente com os ODS por serem instituições de transferência de tecnologia e de ensino. Além disso, Marx [9] enfatiza que as instituições públicas precisam alinhar-se à realidade mundial na implementação das práticas sustentáveis em seus três pilares (Ambientais, Sociais e de Governança).

As pesquisas existentes sobre eficiência energética e práticas sustentáveis concentram-se no setor privado. Conforme foi apontado por Lozano e Garcia [10], há poucos estudos abordando o desenvolvimento sustentável em

IES públicas. Diante dessa realidade, é preciso avançar nessa área de estudo.

Assim, o presente trabalho busca preencher essa lacuna de pesquisa ao investigar as práticas de eficiência energética em Universidades Federais. Para isso, esta pesquisa pretende responder a seguinte questão: Quais são as práticas de eficiência energética adotadas atualmente pelas Universidades Federais?

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Desenvolvimento Sustentável nas IES

As Instituições de Ensino Superior (IES) têm um importante papel na formação de futuros líderes envolvidos com questões sustentáveis, além da produção do conhecimento, cultura e planejamento para incorporar a sustentabilidade a nível institucional. Agregar atividades voltadas para o desenvolvimento sustentável institucional nas universidades demonstra o engajamento com a mitigação das mudanças climáticas, a prevenção de desastres ambientais, a gestão de ecossistemas, o controle de substâncias nocivas e com a eficiência de recursos [11].

De acordo com Leal Filho [8], a estrutura organizacional de uma IES exerce um papel fundamental no desenvolvimento sustentável. No entanto, para o autor, necessita-se de uma organização formal voltada para a sustentabilidade, caso contrário, essas instituições serão consideradas em estágios iniciais no processo sustentável. Ainda segundo o autor, com o objetivo de avançar nesse processo, a universidade pode estabelecer departamentos dedicados à sustentabilidade.

No entanto, em um estudo realizado por Ávila *et al.* [12], as universidades enfrentam desafios significativos na implementação de políticas sustentáveis, principalmente devido à falta de objetivos claros e documentos voltados às práticas em sustentabilidade. Além disso, o estudo identificou que muitas instituições ainda não estabeleceram metas específicas ou enfrentam dificuldades para atingi-las, sendo que a maioria das barreiras está associada a questões de gestão e administração interna.

Nessa perspectiva, a gestão pública brasileira criou Programas para fomentar o desenvolvimento de políticas de sustentabilidade dentro dos órgãos públicos. Dentre esses programas, destacam-se a Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P), o Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS) e o índice IESGo 2024 - Governança, Sustentabilidade e Inovação.

A A3P é uma iniciativa de responsabilidade socioambiental com adesão voluntária, criada em 1999 pelo Ministério do Meio Ambiente. É direcionada às três esferas de governo (Federal, Estadual e Municipal) e aos três poderes da república (Executivo, Legislativo e Judiciário). Seu objetivo é incentivar a gestão governamental a seguir práticas sustentáveis em suas atividades institucionais. A A3P almeja promover mudanças de comportamento, em consequência disso, tem-se uma redução de gastos [13].

O Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS), instituído pela Portaria SEGES/ME nº 8.678, de 19 de julho de 2021, considerando os princípios da nova Lei de Licitações e Contratos (Lei nº 14.133/2021), foi elaborado para direcionar as atividades dos órgãos a objetivos e ações com critérios sustentáveis nas dimensões econômica, social, ambiental e cultural. Com adesão obrigatória para todos os órgãos e entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional, o PLS é estruturado em diversos eixos [14].

Dentre esses eixos, destaca-se para o foco desta pesquisa o eixo “Promoção da racionalização e do consumo consciente de bens e serviços”, cujo objetivo é incentivar o uso eficiente de recursos e a implementação de práticas sustentáveis nas instituições, por meio de sugestões de ações que podem ser desenvolvidas dentro das organizações públicas [14].

Já o iESGo 2024 – Índice ESG (Environmental, Social and Governance), é uma iniciativa para avaliar o grau de comprometimento das instituições públicas federais e de entes jurisdicionados ao Tribunal de Contas da União (TCU) com as práticas ESG e a sua adesão é voluntária. Segundo o TCU entendeu, a administração pública precisa estar alinhada com as tendências globais em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) [15].

Nesse sentido, o TCU incluiu parâmetros de sustentabilidade ambiental e social ao antigo índice de Governança e Gestão (IGG), que avaliava o nível de governança na administração pública, além das questões sustentáveis, também foram incluídos parâmetros de inovação [15]

Felismino [16] ressalta que as universidades devem incorporar a sustentabilidade em suas ações diárias de ensino, pesquisa, extensão e também em seus setores administrativos.

2.2. Eficiência Energética

A eficiência energética é uma alternativa eficaz para mitigar os impactos socioambientais decorrentes do crescimento da demanda por energia elétrica, contribuindo para a redução do consumo e promovendo o uso responsável dos recursos naturais [5].

As ações de eficiência energética podem ser aplicadas em diversos contextos, como em edifícios, transporte, geração e distribuição de energia e até mesmo no planejamento urbano. É também uma das formas de reduzir as emissões de gases de efeito estufa [17].

Nesse sentido, é fundamental mencionar algumas ações de eficiência energética, tais como: consumo consciente de energia elétrica nas edificações; tecnologias em eficiência energética baseadas em inteligência artificial, sobretudo para prédios públicos; utilização de medidores inteligentes, com controle de equipamentos a distância, sistemas automatizados, além da implementação de fontes de energias renováveis [5].

3. Metodologia

A presente pesquisa é classificada como exploratória quanto a sua natureza, considerando que o tema escolhido é pouco explorado na literatura, com isso, há necessidade de aprofundar o conhecimento na área. Dessa forma, para o desenvolvimento desta pesquisa foi inicialmente realizada uma revisão de literatura. Esta revisão teve como finalidade compreender a contribuição das Instituições de Ensino Superior com a sustentabilidade.

Em seguida, para alcançar o objetivo proposto neste estudo, foi realizado um levantamento de dados nos sites oficiais das Universidades Federais brasileiras, com o propósito de identificar quais as práticas relacionadas à eficiência energética estão sendo realizadas por essas instituições de ensino.

A pesquisa adotou um critério estruturado de busca previamente definido, conforme descrito abaixo:

- Acesso ao Site Oficial da Universidade;

Análise na seção “Sobre” ou “Institucional” para identificar *link* direcionando para projetos ou iniciativas de sustentabilidade.

- Pesquisa por Palavras-chave;

Busca por termos específicos relacionados à eficiência energética na barra de pesquisa do site, tais como: “Eficiência Energética”, “Energia”, “Energia Renovável” e “Sustentabilidade”.

- Consulta de Relatórios e Publicações;

Busca por relatórios de sustentabilidade, relatórios de gestão e publicações institucionais que detalham as ações e resultados relacionados à eficiência energética, energia renovável, conservação de energia e redução de consumo energético.

- Pesquisa na seção de Notícias;

Busca na seção de notícias da universidade sobre iniciativas em sustentabilidade ou eficiência energética.

- Busca na ferramenta de busca Google;

Pesquisa pelo nome da instituição e o termo sustentabilidade.

Por fim, após o levantamento, foi feita a compilação e análise dos dados obtidos, com o intuito de identificar quais práticas relacionadas à eficiência energética têm sido realizadas pelas Universidades Federais do Brasil. Essa análise possibilitou compreender as iniciativas existentes e identificar quais instituições ainda não desenvolvem ou não divulgam esses dados de forma transparente em seus sites oficiais.

Os resultados alcançados servirão de base para futuras pesquisas e para a formulação de *checklists* para auxiliar na implementação de práticas de eficiência energética em prol do desenvolvimento sustentável dentro de instituições públicas. Além disso, o presente estudo pode servir como uma forma de fomentar a adoção de ações para reduzir o impacto socioambiental decorrente da maior demanda por energia elétrica.

4. Resultados e Discussão

4.1. Sustentabilidade nas Universidades Federais

A pesquisa foi conduzida por meio da análise dos sites oficiais de todas as Universidades Federais brasileiras, o que possibilitou identificar as principais iniciativas de eficiência energética adotadas para a economia do consumo de energia, uso responsável dos recursos naturais e redução na emissão de gases de efeito estufa.

De acordo com Lozano e Garcia [10], nos últimos anos, muitos esforços foram realizados para incorporar a sustentabilidade nas organizações (públicas ou privadas). Com entendimento semelhante, Lozano *et al.* [18], ressaltaram que desde 1970, as instituições de ensino superior têm se dedicado a incorporar questões ambientais e a sustentabilidade em suas atividades institucionais.

Apesar disso, ainda existem muitas barreiras na implementação da sustentabilidade nas IES, as quais, segundo Lozano *et al.* [18], estão relacionadas à gestão universitária, questões tecnológicas, disponibilidade de recursos e à própria cultura institucional. Em relação às barreiras ligadas à gestão, apurou-se no levantamento dos dados que já existem diversas ações, como as Políticas de Sustentabilidade, Departamentos de Gestão Ambiental, Comissões, entre outras de natureza semelhante, conforme pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – Estratégias Administrativas das Universidades Federais

Estratégias Administrativas	Universidades
Comissões, Programas e Departamentos relacionados à Sustentabilidade Institucional.	UFMG; UFT; UFU; UFRJ; UFV; UFS; UNIRIO; UFSC; UFBA UFSB; UFGD; UFSCar; UFABC; UFCSPA; e UFF.
Gestão do Plano de Gestão de Logística Sustentável	UFSC e UNIR.
Gestão Ambiental	UNB; UNIFAL; UFRN; UFMG; UFU; UFRGS; UFRPE; UFCE; UFBA; UFOPA; UFSM; UFAL; UNIFESP; FURG; UFCSPA; e UFPE.
Agenda 2030	UFES; UFMG e UFSC.
Agenda Ambiental - A3P	UFU e UFMG
Energia	UFVJM; UFRGS; UFRN; UFRJ, UFRR; UNIFAP; UFPB; e UNIFESP
Eficiência Energética	UNILA; UFFS; UTFPR; UFBA; UFPA; e UFMG.

Fonte: Elaborado pelos autores

Essas ações administrativas direcionadas a questões sustentáveis, meio ambiente e eficiência energética revelam que muitas universidades já estão superando as barreiras associadas à gestão da IES. Além disso, a divulgação de maneira transparente dessas informações serve de referência para outras instituições de ensino. Corroborando com este entendimento, Brandili *et al.* [11] aponta que a ausência de cooperação entre as universidades

é outra barreira para a promoção da sustentabilidade.

Nesse contexto, destaca-se a Rede Brasileira de Instituições de Ensino Superior para o Desenvolvimento Sustentável (UniSustentável), cujo objetivo é promover a cooperação, intercâmbio e comunicação entre as IES membros, em prol da construção de uma sociedade mais sustentável. A Rede UniSustentável foi lançada em setembro de 2023, na Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Atualmente, conta com 27 instituições participantes, desse total 18 são instituições de ensino superior federais.

4.2. Principais Práticas de Eficiência Energética

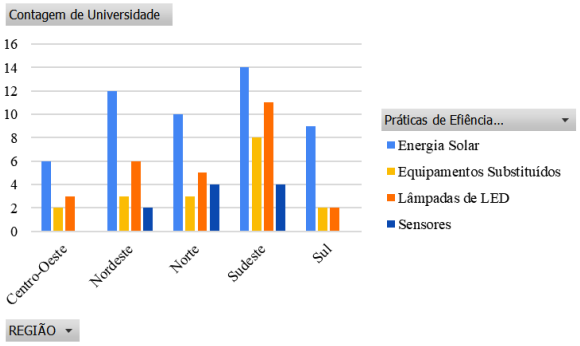
Já em relação às iniciativas em prol da eficiência energética, foco deste estudo, enfatiza-se o Plano de Logística Sustentável, que foi estruturado em dez temas para implementar e aperfeiçoar as práticas sustentáveis dentro dos órgãos da administração pública. Um desses temas é a Energia Elétrica, que visa a economia no consumo por meio da eficiência energética.

De acordo com Santa [19], a eficiência energética é um aspecto fundamental das construções sustentáveis, e sua aplicação em edifícios já construídos é crucial para otimizar o uso de energia. Entre as medidas que podem ser adotadas estão a troca de instalações elétricas, iluminação e equipamentos, visando otimizar o consumo de energia e reduzir o impacto ambiental.

Outras práticas relevantes para promover a eficiência energética foram apontadas no estudo de Guimarães *et al*. [20], tais como: manutenção preventiva de equipamentos; instalação de sensores automáticos; adaptações nas construções do campus para melhorar a iluminação natural; e instalação de sistemas de energia fotovoltaica como medidas para minimizar o consumo elétrico. Entretanto, os autores concluíram que essas estratégias ainda são utilizadas de forma incipiente na maioria das universidades analisadas em sua pesquisa.

Com base na pesquisa conduzida nos sites oficiais das universidades federais, as principais práticas mapeadas incluíram a utilização de fontes de energia renováveis, como a energia solar, a substituição de lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED (*Light Emitting Diode*), a instalação de sensores de presença para otimizar o uso de energia em ambientes internos e a substituição de equipamentos antigos por modelos com tecnologias mais modernas e com menor consumo energético. Como pode ser observado no Gráfico 1, a seguir:

Gráfico 1: Principais práticas de eficiência energética por região



Fonte: Elaborado pelos autores

Nesse cenário, vale ressaltar que tanto o quantitativo de universidades que possuem essas ações, quanto às práticas mais realizadas foi baseado no método de busca estabelecido previamente, dessa forma, foram consideradas informações publicadas de forma transparente e de fácil acesso pelas instituições. Sendo assim, é fundamental destacar algumas ações publicadas nos sites oficiais pelas instituições analisadas nesta pesquisa.

A Universidade Federal de Brasília (UnB) divulgou dados importantes sobre os resultados alcançados com a eficiência energética após a implementação do PLS. O consumo anual era de 25 milhões de kWh/ano e com a instalação de usinas fotovoltaicas, a substituição de lâmpadas e de motores de aparelhos, o consumo reduziu para 17 milhões de kWh/ano, o que representa uma q de 32% no consumo anual [21].

Já a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) divulgou o relatório de

sustentabilidade das ações que possibilitaram o aumento da eficiência energética no Parque Tecnológico da UFRJ, como a instalação de sensores de presença nos banheiros e escadas de emergências, e a troca de luminárias de vapor metálico por LEDs e substituição do sistema de ar condicionado central do prédio CETIC, com isso, reduziu o consumo de energia em 41,84%, no ano de 2023. Além disso, a universidade possui sistema de geração de energia fotovoltaica [22].

No site da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), também foram publicados levantamentos sobre ações de eficiência energética na instituição. A substituição de lâmpadas convencionais (9.837 unidades) por lâmpadas de LED e de 11 equipamentos de ar-condicionado obsoletos por aparelhos mais eficientes, gerará uma redução de 547,60 MWh/ano no consumo de energia. Essa redução evita a emissão de 27.928 toneladas de CO_2 na atmosfera [23].

Segundo os dados levantados nesta pesquisa, identificou-se que essas ações, conforme apresentado no Gráfico 1, ainda não são realizadas na maioria das instituições de ensino superior federais, com exceção das usinas de energia fotovoltaicas, que atualmente é a prática de maior predominância nas universidades analisadas.

Diante disso, a divulgação das práticas nos portais eletrônicos das universidades contribui para a conscientização e o estímulo de outras instituições de ensino superior adotarem estratégias semelhantes. Nesse contexto, a atuação de redes de colaboração entre essas instituições desempenha um papel fundamental na propagação de ações voltadas para o desenvolvimento sustentável, como o caso da rede UniSustentável, criada justamente com o propósito de promover essa troca de informações sustentáveis.

Por essas razões, a implementação dessas práticas de eficiência energética nas universidades apresenta benefícios econômicos significativos, resultantes da redução nos custos associados ao consumo de energia. Além disso, destacam-se as vantagens ambientais, tendo em vista que contribuem para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

Segundo Montes [24], a emissão de gases de efeito estufa, especialmente o CO_2 é um dos principais fatores de impacto associado às mudanças climáticas e ao uso da energia na operação das edificações, resultantes do consumo energético. Portanto, essa redução é fundamental para a mitigação das mudanças climáticas, promovendo, assim, um ambiente mais sustentável.

4.3. Energia Fotovoltaica

O Brasil possui uma localização privilegiada com relação a incidência de raios solares durante boa parte do ano, o que confere ao país um elevado potencial de geração de energia elétrica por meio dos sistemas fotovoltaicos.

Baseado no levantamento realizado neste estudo, 51 das 69 universidades federais brasileiras já possuem sistemas de energia solar fotovoltaica instalados ou em fase de instalação. Esses resultados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2: Universidades com Energia Fotovoltaica

Energia Fotovoltaica
UFOP; UFAL; UFRJ; UFVJM; UFES; UFPR; UTFPR; UFSC; UFRGS; UFG; UnB; UFCA; UFBA; UNIR; UFPA; Unifesspa; Unifap; UFT; UFNT; UFMS; UFS; UFOPA; UFRB; UFAC; UNIFAP; UFAM; UFSB; UNILA; UFOB; UFDPar; UFCAT; Unipampa; UFV; UFTM; UFSJ; UNIFEI; UFJF; UNIFAL; UFLA; UFSM; UFBA; UFRB; UFPel; UFR; UFGD; UFABC; UFCG; UFPI; FURG; UFFS e UFRN.

Fonte: Elaborado pelos autores

Nesse sentido, vale mencionar os dados apurados nos endereços eletrônicos de algumas universidades que possuem usinas fotovoltaicas. No portal eletrônico da UnB foi possível identificar que as atividades do seu parque fotovoltaico evitam a emissão de, aproximadamente, 11 toneladas de CO_2 (dióxido de carbono) na atmosfera e gera uma economia de R$1,8 milhão anualmente [21]. No site oficial da Universidade Federal de Sergipe (UFS) [25] foi divulgado que a

instituição deixou de emitir cerca de 66 toneladas de CO_2 com suas usinas fotovoltaicas.

A Universidade Federal de São João del-Rei tornou público que o sistema de geração de energia fotovoltaica do Campus de Sete Lagoas tem capacidade de gerar, em média, 3.750 *kilowatts* por hora/mês, o que representa uma redução de 10% no consumo energético total do campus [26]. A UNIFEI também apresentou resultados com a instalação da usina fotovoltaica. Em 2023 foi gerado em torno de 627.232 kWh e injetado na rede da concessionária 80.500 kWh, gerando uma economia de cerca de R$500.000,00 para a instituição [27].

4.4. Equipamentos Substituídos

A variação nos custos da energia elétrica é influenciada por diversos fatores, como as condições hidrológicas, a operação do sistema, os hábitos de consumo e a eficiência dos equipamentos [28].

Em conformidade com esse entendimento, de acordo com dados apurados neste estudo, identificou-se que apenas 18 universidades informaram realizar substituição de equipamentos de baixo desempenho energético por modelos mais eficientes, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Universidades com Equipamentos Substituídos

Equipamentos Substituídos
UFT; UTFPR; UFRGS; UFRN; UFG; UNB; UFRPE; UFC; UNIR; UFPA; UFV; UFTM; UNIFEI; UNIFAL; UFLA; UFPI; UFPE; e UFOP

Fonte: Elaborado pelos autores

Em alinhamento com as práticas sustentáveis, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) possui um projeto de eficiência energética para conduzir as ações realizadas pela instituição. Por meio desse projeto, a universidade divulgou que fará a substituição dos equipamentos de ar-condicionado ineficientes do ponto de vista energético por aparelhos mais eficientes [29].

Nesse contexto, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) também aderiram à troca de aparelhos de ar condicionado por modelos de tecnologia inverter. Na UFTM foram instalados 106 aparelhos em 2023 com essa tecnologia, além disso, a universidade possui 1.138 aparelhos em uso, desse quantitativo, 335 são de tecnologia *inverter*, reconhecidamente mais eficientes [30,31].

Nesse aspecto, o estudo de Castro revela que os condicionadores de ar com tecnologia inverter se destacam em termos de eficiência energética em comparação aos modelos convencionais. A economia no consumo de energia, pode variar de 30% a 50%, sendo assim, um fator relevante que justifica a adoção dessa tecnologia, especialmente em contextos onde o uso de ar-condicionado é intenso [32].

Na página da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), intitulada UFRGS Sustentável, também são apresentadas as diversas condutas adotadas pela instituição, dentre elas, há temas de eficiência energética, como a promoção do uso consciente da energia elétrica, como as práticas de redução do consumo e adoção de equipamentos e materiais com maior desempenho energético [33].

Nesse contexto, é importante destacar que, critérios de sustentabilidade, como a eficiência energética, são adotados nos processos licitatórios das instituições públicas para aquisição de bens de tecnologia em atendimento à nova Lei de Licitações, nº 14.133/21 [34].

4.5. Lâmpadas de LED

A substituição de lâmpadas fluorescentes e incandescentes por lâmpadas de LED foi a segunda ação mais recorrente de acordo com os dados apurados. Dentre as instituições analisadas, 27 (vinte e sete) divulgaram informações sobre essa prática em seus sites oficiais. Conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Universidades - Lâmpadas de LED

Substituição de Lâmpadas convencionais por LEDs
UTFPR; UnB; UFT; UNIFAP; UNIR; UFRN; UFAC; UFAM; UFBA; UFSB; UFJ; UFV; UFTM; UFSJ; UNIFEI; UFJF; UNIFAL; UFLA; UFRJ; UFR, UFGD; UNIFESP; UFABC; UFPB; UFPI; UFFS e UFRB.

Fonte: Elaborado pelos autores

A utilização de lâmpadas de LED reduz significativamente o consumo de energia. Segundo Santos [35], elas consomem 82% menos energia elétrica que uma lâmpada incandescente e possuem durabilidade maior que as demais. Além disso, as autoras enfatizam o benefício ambiental, pois as Lâmpadas de LED são produzidas com materiais atóxicos ao meio ambiente.

Na Universidade Federal de Brasília [21], essa medida de substituição das lâmpadas convencionais pelas de tecnologia LED gerou uma redução no consumo energético de 48 MWh/mensal, o que representou uma economia de R$36 mil para a instituição. Essa economia no consumo também é citada no site da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) [30], que substituiu 60 mil lâmpadas convencionais por LEDs em aproximadamente 100 prédios nos campi de Natal, Caicó, Currais Novos e Macaíba.

Outra instituição que deu publicidade à substituição das lâmpadas foi a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). O campus Realeza está em fase de troca de 6.229 lâmpadas pouco eficientes pelas lâmpadas de tecnologia LED, no entanto, não foi identificado o resultado econômico em decorrência da substituição [36].

Baseado na busca realizada nos sites das universidades analisadas neste estudo, observou-se que a substituição de lâmpadas convencionais pelas de LED é uma prática que gera uma economia de energia considerável, além reduzir a quantidade de trocas por um longo período, em virtude da sua maior durabilidade. Entretanto, os resultados em termo de economia alcançados com a prática não são divulgados pela totalidade das universidades que efetuaram a substituição das lâmpadas.

4.6. Sensores Inteligentes

A instalação de sensores foi outra prática identificada durante a análise das informações divulgadas pelas universidades em seus sites oficiais. As universidades que divulgaram esse tipo de iniciativas estão evidenciadas na Tabela 5.

Tabela 5: Universidades - Instalação de Sensores

Sensores Inteligentes
UNIR; UFRJ; UFT; UFSB; UFAM; UNILA; UFTM; UFLA; UFPE; e UNIFAP.

Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme o estudo de Santa *et al.* [19], que avaliou a eficiência energética nos edifícios de uma universidade comunitária, os autores recomendaram medidas, como a utilização de sensores de presença nos edifícios e de controle da luminosidade. Iniciativas semelhantes foram observadas no Relatório de Sustentabilidade do Parque Tecnológico da UFRJ, que menciona ações tanto para reduzir o consumo, quanto para a conservação predial, como a instalação de torneiras com sensores e sistema de iluminação com sensores de presença nos banheiros e escadas de emergências [22].

O Relatório de Acompanhamento do PLS 2021-2023 da UFTM também aponta ações nesse sentido, como instalações de sensores em pontos estratégicos da instituição com o objetivo de realizar um estudo de viabilidade em toda a universidade [31].

Embora algumas dessas medidas tenham sido adotadas com foco na conservação predial, a instalação de sensores para automatizar o consumo energético possibilita maior controle de uso em períodos de elevada demanda, com isso, evita-se o desperdício de energia.

5. Considerações finais

As universidades desempenham um papel crucial na formação de futuros profissionais, que devem estar comprometidos com a sustentabilidade e a mitigação dos impactos ambientais em todos os níveis da sociedade.

Por essas razões, frisa-se a importância de incorporar práticas sustentáveis a nível institucional. Conforme foi destacado por Brandili *et al.* [11], essa iniciativa reflete que a instituição está de fato empenhada em contribuir com a redução dos impactos ambientais. Nesse contexto, a eficiência energética, tema central deste estudo, busca minimizar os impactos ao meio ambiente por meio do uso responsável da energia gerada. Como consequência, há uma redução na emissão de dióxido de carbono na atmosfera [6].

Com base no levantamento realizado para esta pesquisa, identificaram-se as práticas mais recorrentes nas universidades analisadas. Tais como, a instalação de usinas de energia fotovoltaicas, a substituição de equipamentos de baixa eficiência energética por aparelhos com tecnologias mais eficientes, a substituição de lâmpadas convencionais (incandescentes e fluorescentes), por lâmpadas de LED, e a instalação de sensores inteligentes.

Entretanto, algumas limitações foram encontradas durante o levantamento das informações nos sites oficiais das instituições analisadas. Uma das principais dificuldades foi a ausência de um padrão uniforme na divulgação das informações relacionadas às práticas de eficiência energética nos sites das Universidades Federais brasileiras. As ações e iniciativas de eficiência energética estavam localizadas em diferentes seções dos sites, muitas vezes em localizações não intuitivas, dificultando o levantamento completo das ações realizadas. Em razão disso, não foi possível fazer uma estimativa apurada da redução média de consumo entre as Universidades, tampouco, compará-las para medir a efetividade das ações individuais

Ademais, a heterogeneidade na forma como cada instituição apresenta suas iniciativas torna desafiador coleta de informações sobre todas as ações realizadas. Em razão disso, ações relevantes podem não ter sido identificadas. Essas limitações sinalizam a necessidade de uma maior transparência na divulgação das informações sobre sustentabilidade e eficiência energética nas universidades.

Nessa perspectiva, recomenda-se que pesquisas futuras investiguem a transparência das instituições de ensino superior públicas em suas publicações oficiais, além de promover o desenvolvimento de padrões para a divulgação de dados relacionados à sustentabilidade. Nesse sentido, frisa-se que estas, enquanto instituições públicas, devem cumprir o princípio da publicidade, que obriga a administração pública a dar transparência às suas ações. Além disso, é interessante analisar a contribuição da transparência na promoção do desenvolvimento sustentável nas organizações públicas.

6. Referências

[1] COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO *Nosso Futuro Comum*. FGV, 1991.

[2] BRASIL. *Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil.* Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

[3] ONU. *Declaração do Milênio*. Nova York, 2000. Disponível em: https://www.undp.org/pt/brazil/publications/declaracao-do-milenio. Acesso em 08/10/2024.

[4] ONU. *A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.* Nova York, 2015. Disponível em: https://www.unodc.org/lpo-brazil/pt/crime/embaixadores-da-juventude/conhea-mais/a-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentvel.html. Acesso em 08/10/2024.

[5] JUSTINO, M. P., SILVA, F. S., RABELO, O. da S. (2020). *Perspectiva de Uso da Inteligência Artificial (IA) para a Eficiência Energética em Prédios*

Públicos. Cadernos De Prospecção, Salvador, v. 13, n.3, p. 769-782. DOI:10.9771/cp.v13i3.33079.

[6] LIMA, L. J. B.; HAMZAGIC, M. *Estratégias para a transição energética: revisão de literatura*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 06, Vol. 08, pp. 96-120, 2022. ISSN: 2448-0959. DOI:10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/transicao-energetica.

[7] GARCIA, D. P. *Proposta de um modelo de maturidade em sustentabilidade para as instituições de ensino superior (MMS-IES)*. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, 2021. ISBN: 978-65-5983-174-6. DOI: 10.22533/at.ed.746210906.

[8] LEAL FILHO, W., SALVIA, A. L., FRANKENBERGER, F. *Governance and sustainable development at higher education institutions.* Environ Dev Sustain, v. 23, 6002–6020, 2021. DOI:10.1007/s10668-020-00859-y.

[9] MARX, C. A. *A nova governança pública e os princípios ESG*. Revista Controle Externo, v. 3, n. 6, p. 115-125, 2021. DOI: 10.58899/TCE-GO. v3i6-art09.

[10] LOZANO R., GARCIA I. *Scrutinizing Sustainability Change and Its Institutionalization in Organizations.* Front. Sustain. v. 1, 2020. doi: 10.3389/frsus.2020.00001.

[11] BRANDLI, L.L., LEAL FILHO, W., FRANDOLOSO, M.A.L., KORF, E.P., DARIS, D. *The Environmental Sustainability of Brazilian Universities: Barriers and Pre-conditions.* Springer, p.63-74, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-09474-8_5

[12] ÁVILA, L. V., LEAL FILHO, W.; BRANDLI, L.; MACGREGOR, C. J.; MOLTHAN-HILL P.; ÖZUYAR, P. G.; MOREIRA, R. M. *Barriers to Innovation and Sustainability at Universities Around the World.* International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 20 No. 5, pp. 805-821. DOI:10.1108/IJSHE-02-2019-0067

[13] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P)*. Disponível em: https://ead.mma.gov.br/mod/book/view.php?id=10614&chapterid=5059. Acesso em: 05/09/2024.

[14] Brasil. Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos. *Caderno de Logística Plano Diretor de Logística Sustentável: 2024*. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/compras/pt-br/agente-publico/logistica-publica-sustentavel/plano-de-gestao-de-logistica-sustentaveis/plano-diretor-logistica-sustentavel-ver1.pdf. Acesso em: 05/09/2024.

[15] TCU. Tribunal de Contas da União. *iESGo – Governança, Sustentabilidade e Inovação*. Disponível em: https://iesgo.tcu.gov.br/. Acesso em 05/10/2024.

[16] FELISMINO, M. M. *Avaliação dos Fatores Ambientais, Sociais e de Governança (Esg): Uma Proposta Para Universidades Federais.* Fortaleza:UFC, 2023.

[17] BABARINDE F.; ADIO M. A./ Journal of Energy Technology and Environment. Vol. 2, pp. 1-11, 2020. DOI:10.37933/nipes.e/2.2020.1

[18] LOZANO R.; CEULEMANS K.; ALMEIDA M. A.; HUISINGH D., LOZANO F.J.; WAAS T., LAMBRECHTS W.; LUKMAN R.; HUGÉ J. *A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education: results from a worldwide survey*. v. 108, p.1-18, 2015. DOI:10.1016/j.jclepro.2014.09.048

[19] SANTA S. L.B.; ENGELAGE E.; PFITSCHER E. D.; BORGERT A. *Avaliação De Sustentabilidade: Eficiência Energética Em Edifícios De Uma*

Universidade Comunitária. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS, ISSN: 2316-9834. DOI: 10.5585/geas.v6i2.827.

[20] GUIMARÃES, J., PEDRADA A. K. M., ALMEIDA O. T., RODRIGUES R. O.C., & RIVERO S.L.M. *Sustentabilidade ambiental na Universidade Federal do Pará: consumo de energia e práticas sustentáveis.* Paper do NAEA, v. 31, n. 1 (Edição 538) ISSN 15169111, p.13. Belém: UFPA, 2022.

[21] UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA. *UnB lança novo Plano de Logística Sustentável.* Disponível em: https://noticias.unb.br/76-institucional/7103-unb-lanca-novo-plano-de-logistica-sustentavel. Acesso em 10/09/2024.

[22] PARQUE TECNOLÓGICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO DE JANEIRO. *Relatório de Sustentabilidade do Parque Tecnológico da UFRJ*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2022. Disponível em: https://www.parque.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/06/Relatorio_de_Sustentabilidade_PTEC-UFRJ_2022.pdf. Acesso em: 12/09/2024.

[23] UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS. *UNIFAL-MG avança em ranking internacional sobre sustentabilidade e fica na 19ª posição entre instituições do Brasil; iniciativas para eficiência energética, gestão de resíduos e economia de recursos contribuem para o crescimento da Universidade no ranking*. Disponível em:https://www.unifal-mg.edu.br/portal/2021/12/21/unifal-mg-avanca-em-ranking-internacional-sobre-sustentabilidade-e-fica-na-19a-posicao-entre-instituicoes-do-brasil-iniciativas-para-eficiencia-energica-gestao-de-residuos-e-economia-de-recursos-con/. Acesso em 02/09/2024.

[24] MONTES, M. A. T. *Abordagem Integrada no Ciclo de Vida de Habitação de Interesse Social Considerando Mudanças Climáticas.* Florianópolis: UFSC, 2016.

[25] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE *Eficiência Energética na UFS*. Disponível em: https://eficienciaenergetica.ufs.br/conteudo/60584-efi ciencia-energetica-na-ufs. Acesso em 02/09/2024.

[26] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI *Estação fotovoltaica no CSL garante economia e energia renovável.* Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/noticias_ler.php?codigo_noticia=10142. Acesso em 10/09/2024.

[27] UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ. *Transparência e Prestação de Contas*. Disponível em: https://unifei.edu.br/transparencia-e-prestacao-de-contas/. Acesso em: 10/09/2024.

[28] BATISTA, O. E., & FLAUZINO, R. A. *Medidas de Gestão Energética de baixo custo como estratégia para redução de custos com energia elétrica*. Revista Gestão Da Produção Operações E Sistemas. v.4, p.117-134. DOI:10.15675/gepros.v0i4.921

[29] UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. *Projeto de eficiência energética da UTFPR-CM é aprovado em chamada pública da Copel.* Disponível em: https://www.utfpr.edu.br/noticias/campo-mourao/energia. Acesso em 09/09/2024.

[30] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. *Relatório de Gestão 2022*. Natal, 2023. Disponível em: https://ufrn.br/resources/documentos/relatoriodegestao/RelatoriodeGestao2022.pdf. Acesso em 13/09/2024.

[31] UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO. *Relatório de Acompanhamento do PLS 2021-2023.* Uberaba, 2024. Disponível em: https://sistemas.uftm.edu.br/integrado/?to=RTZjcGZxTGFsSkFOOXRhSkpVdm5E

LzBmWjZPUjNwZVNDdzA3NzFoRzcxe
FREdkl2ZllMa25YaklsN0lFMEJ3MHV
WQ2ZDVjFiTlFCRXRiUy9jR1k4dDRSU
3JtSlk0WUhCUXhXdld4VlpXbFJhNitTN
1ZSbm9yQVZycWJidWE2QmhDOHh3R
mFPVVE4dEpuVTZrbEtVY1BvbmF5V
mVQVHMxUmc4N25ZOENPbVRIM0F
WL1R2NzhlWjFjblRwVXRGanBT&secr
et=uftm. Acesso em 15/09/2024.

[32] CASTRO, A. L. B. *Estudo de Caso da Viabilidade Econômica do Uso de Condicionadores de Ar Inverter Versus Convencional no Varejo Brasileiro.* Fortaleza: UFC, 2018.

[33] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. *UFRGS Sustentável*. Disponível em: https://www.ufrgs.br/sustentabilidade/. Acesso em: 05/10/2024.

[34] BRASIL. *Lei no 14.133*. Lei de Licitações e Contratos Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1 abr.2021.

[35] SANTOS, T. S; BATISTA M. C.; POZZA S. A.; ROSSI L. S. *Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais*. Eng Sanit Ambient, v. 20, n. 4, p. 595-602, 2015. DOI:10.1590/S1413-41522015020040125106.

[36] UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL *UFFS – Campus Realeza investe na substituição de lâmpadas e promove primeira ação do Projeto de Eficiência Energética.* Disponível em: https://www.uffs.edu.br/campi/realeza/noticias/uffs-2013-campus-realeza-investe-na-substituicao-de-lampadas-e-promove-primeira-acao-de-projeto-de-eficiencia-energetica . Acesso em 25/09/2024.

APÊNDICE A

Relação das Universidades Federais Brasileiras com práticas de eficiência energética e/ou iniciativas sustentáveis

Instituição	Sigla	Estado
Universidade Federal do Acre	UFAC	Acre
Universidade Federal do Amapá	UNIFAP	Amapá
Universidade Federal do Amazonas	UFAM	Amazonas
Universidade Federal de Alagoas	UFAL	Alagoas
Universidade Federal da Bahia	UFBA	Bahia
Universidade Federal do Sul da Bahia	UFSB	Bahia
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia	UFRB	Bahia
Universidade Federal do Oeste da Bahia	UFOB	Bahia
Universidade Federal da Lusofonia Afro-Brasileira	UNILA	Ceará
Universidade Federal do Cariri	UFCA	Ceará
Universidade Federal do Ceará	UFC	Ceará
Universidade de Brasília	UnB	Distrito Federal
Universidade Federal do Espírito Santo	UFES	Distrito Federal
Universidade Federal de Goiás	UFG	Goiás
Universidade Federal de Catalão	UFCAT	Goiás
Universidade Federal de Jataí	UFJ	Goiás
Universidade Federal de Rondonópolis	UFR	Mato Grosso
Universidade Federal do Paraná	UFPR	Paraná
Universidade Federal da Paraíba	UFPB	Paraíba
Universidade Federal de Campina Grande	UFCG	Paraíba
Universidade Federal do Vale do São Francisco	UNIVASF	Pernambuco
Universidade Federal do Piauí	UFPI	Piauí
Universidade Federal do Delta do Parnaíba	UFDPar	Piauí
Universidade Federal do Rio de Janeiro	UFRJ	Rio de Janeiro
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro	UNIRIO	Rio de Janeiro
Universidade Federal Fluminense	UFF	Rio de Janeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	UTFPR	Paraná
Universidade Federal da Grande Dourados	UFGD	Mato Grosso do Sul
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	UFMS	Mato Grosso do Sul
Universidade Federal de Alfenas	UNIFAL	Minas Gerais
Universidade Federal de Itajubá	UNIFEI	Minas Gerais
Universidade Federal de Juiz de Fora	UFJF	Minas Gerais
Universidade Federal de Lavras	UFLA	Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	Minas Gerais
Universidade Federal de Ouro Preto	UFOP	Minas Gerais
Universidade Federal de São João del-Rei	UFSJ	Minas Gerais
Universidade Federal de Uberlândia	UFU	Minas Gerais
Universidade Federal de Viçosa	UFV	Minas Gerais
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri	UFVJM	Minas Gerais
Universidade Federal do Triângulo Mineiro	UFTM	Minas Gerais
Universidade Federal do Oeste do Pará	UFOPA	Pará
Universidade Federal do Pará	UFPA	Pará
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará	UNIFESSPA	Pará
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	UFRRJ	Rio de Janeiro
Universidade Federal do Rio Grande do Norte	UFRN	Rio Grande do Norte
Universidade Federal de Santa Maria	UFSM	Rio Grande do Sul
Universidade Federal do Pampa	UNIPAMPA	Rio Grande do Sul
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre	UFCSPA	Rio Grande do Sul
Universidade Federal do Rio Grande	FURG	Rio Grande do Sul
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS	Rio Grande do Sul
Universidade Federal de Pelotas	UFPel	Rio Grande do Sul
Universidade Federal de Rondônia	UNIR	Rondônia
Universidade Federal de Roraima	UFRR	Roraima
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	Santa Catarina
Universidade Federal da Fronteira Sul	UFFS	Santa Catarina
Universidade Federal de São Carlos	UFSCar	São Paulo
Universidade Federal de São Paulo	UNIFESP	São Paulo
Universidade Federal do ABC	UFABC	São Paulo
Universidade Federal de Sergipe	UFS	Sergipe
Universidade Federal do Norte do Tocantins	UFNT	Tocantins
Universidade Federal do Tocantins	UFT	Tocantins

Fonte: Elaborado pelos autores

Revista Boletim do Gerenciamento

Site: www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento

Expediente

Supervisão Editorial:

Eduardo Linhares Qualharini

Conselho Editorial:

André Baptista Barcaui, D. Sc. UFRJ, Brasil
Assed Naked Haddad, D. Sc. UFRJ, Brasil.
João Carlos Gonçalves Lanzinha, D. Sc. UBI, Portugal
José Rodrigues de Farias Filho, D.Sc. UFF, Brasil
Raphael Albergarias Lopes, IPMA, D.Sc. Brasil
Vasco Manuel A. Peixoto de Freitas, D. Sc. FEUP, Portugal

Comitê Editorial:

Ahmed W. A. Hammad, D. Sc. UNSW, Austrália
Americo Pinto, D. Sc. Brasil
Claudia Garrido Martins, D. Sc. UNCC, EUA
Darci Prado, PhD., Brasil
Diego André Vasco Calle, D. Sc. Usach, Chile
Dieter Thomas Boer, D. Sc. URV, Espanha
Ricardo Viana Vargas, PhD., UFF, Brasil
Sheila Mara Baptista Serra, D. Sc. UFSCar, Brasil
Vivian W. Y. Tam, PhD. WSU, Austrália

Jornalista Responsável, edição e diagramação:

Denise da Silva Mello Lacerda _ SRTE/RJ 33887

Periodicidade da Publicação

Bimestral

Contato:

Núcleo de Pesquisas em Planejamento e Gestão – NPPG
Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco D, sala 207
Cidade Universitária – Rio de Janeiro – CEP: 21941-909
(21) 3938-7965
boletimdogerenciamento@poli.ufrj.br