



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências

Campus de Rosana

DEIVIS FERNANDES ALVARES

**Análise da viabilidade de sistemas de eficiência energética em
escadas rolantes das estações de metrô e trem na cidade de São
Paulo/SP**

Rosana - SP
2023

DEIVIS FERNANDES ALVARES

Análise da viabilidade de implantação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes das estações de metrô e trem na cidade de São Paulo/SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria de Curso de Engenharia de Energia do Campus de Rosana, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco
Resende da Silva

Rosana - SP
2023

A473a Alvares, Deivis Fernandes

 Análise da viabilidade de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes das estações de metrô e trem na cidade de São Paulo/SP / Deivis Fernandes Alvares. -- Rosana, 2023
 46 p. : il., tabs., fotos

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
 Orientador: José Francisco Resende da Silva

 1. Eficiência Energética. 2. Escadas Rolantes. 3. Redução de Custos. 4. Viabilidade Econômica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências

Campus de Rosana

DEIVIS FERNANDES ALVARES

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. LEANDRO FERREIRA PINTO

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ FRANCISCO RESENDE DA SILVA
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. LUCAS TELES DE FARIA
UNESP-Rosana

Prof. Dr. LEONARDO HENRIQUE FARIA
MACEDO POSSAGNOLO
UNESP-Rosana

Junho de 2023

Dedico este trabalho a todos aqueles que
me apoiaram durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, João e Cleonice, que embora não estejam mais entre nós, sabiam que eu conseguiria finalizar o curso de Engenharia de Energia na UNESP e que com isso, teriam um engenheiro na família.

Agradeço principalmente minha esposa Priscila por ter me apoiado nos melhores e piores momentos, pois me dava forças para continuar independente da dificuldade.

Minhas tias Tereza, Vitória, Tata e Francisca, que sempre me apoiaram quando precisei. Meus amigos Yassuo, Apoio, Thyago, Pedro, Alvaro, Miriam, Caio e Bolt.

Todos que foram de suma importância durante toda a minha trajetória, do início ao fim.

Aos professores, em especial Paim, Michael, Renivaldo, Zanette, Guilherme, Elói, Leandro e claro, Resende, meu orientador. Todos foram além de suas funções e contribuíram não apenas como profissionais, mas também como humanos, e tenho enorme gratidão e carinho por todos.

Funcionários da universidade, especialmente ao Bruno e Valdir, sempre dispostos a auxiliar quanto às questões da bolsa socioeconômica e demais atividades, Cynthia e ambos Júlio César, equipe maravilhosa da biblioteca. Nanci e Cynthia, não só pela amizade e prestatividade, como também excelentes companheiras de dança.

Todos sabem como foi difícil toda a caminhada, mas saibam que sem vocês, esse sonho não seria possível, e sou grato por cada um. Obrigado.

“Estou, de alguma forma, menos interessado no peso e nas convoluções do cérebro de Einstein do que na quase certeza de que pessoas de igual talento viveram e morreram em plantações de algodão e fábricas exploradoras.”

Stephen Jay Gould

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes das estações de metrô e trem na cidade de São Paulo/SP. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o sistema de transporte metroviário e ferroviário em São Paulo, os conceitos de eficiência energética, estratégias para a sua implementação em escadas rolantes e exemplos de sistemas utilizados em outras partes do mundo. Os resultados indicam que a implementação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes pode trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais, mas há obstáculos e desafios a serem superados. Recomenda-se a realização de estudos de viabilidade econômica e técnica para avaliar a possibilidade de implementação desses sistemas nas estações de metrô e trem em São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética. Escadas rolante. Redução de custos. Transporte público. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

This work aims to analyze the feasibility of energy efficiency systems in escalators at subway and train stations in the city of São Paulo/SP. For this, a bibliographic review was carried out on the subway and rail transport system in São Paulo, the concepts of energy efficiency, strategies for its implementation in escalators and examples of systems used in other parts of the world. The results indicate that the implementation of energy efficiency systems in escalators can bring environmental, economic and social benefits, but there are obstacles and challenges to be overcome. It is recommended that economic and technical feasibility studies be carried out to assess the possibility of implementing these systems in subway and train stations in São Paulo.

KEYWORDS: Energy Efficiency. Escalator. Cost reduction. Public transportation. Economic viability.

LISTA DE SÍMBOLOS

IEA	Agência Internacional de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
APP	Áreas de Preservação Permanente
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
ONU	Organização das Nações Unidas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
kWh	Kilowatts-Hora
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais Componentes de uma Escada Rolante	20
Figura 2: Diferença Entre Perfis de Uso	27
Figura 3: Cálculo de VPL e TIR	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	16
2.2. IMPACTOS CAUSADOS POR NOVAS UNIDADES GERADORAS	18
2.3. ESCADAS ROLANTES	19
2.4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCADA ROLANTE	21
2.5. TIPOS DE ESCADA ROLANTE	23
2.6. CONSUMO ELÉTRICO	24
2.7. APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCADAS ROLANTE	25
2.8. IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS	27
2.9. VIABILIDADE FINANCEIRA E <i>PAYBACK</i>	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS	32
3.2. CÁLCULO DE <i>PAYBACK</i>	33
3.3. CÁLCULO DE VPL	33
3.4. CÁLCULO DE TIR	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA	36
4.2. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	38
4.3. SISTEMA DE EFICIÊNCIA OU TROCA POR MODELOS ATUAIS	39
5. CONCLUSÃO.....	41
6. ESTUDOS FUTUROS	42
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	43

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica tem se comportado de forma crescente ao longo dos anos, acompanhando o aumento do desenvolvimento econômico e a expansão da população mundial. De maneira geral, o consumo de energia elétrica é um indicador importante do nível de desenvolvimento econômico de um país ou região, pois está diretamente relacionado à atividade industrial, comercial e residencial. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês), o consumo global de energia elétrica cresceu cerca de 4% ao ano nas últimas quatro décadas. Nos países em desenvolvimento, o crescimento do consumo tem sido ainda mais acentuado, impulsionado pela urbanização e pelo aumento do acesso à eletricidade.

No Brasil, segundo o EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2022), têm se observado o mesmo comportamento, apresentando crescimento do consumo de 60,6 mil TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo), em 1970, para 248 mil TEP, em 2021, indicando aumento significativo no consumo, com expectativa de aumento ao longo dos anos, conforme é possível observar na tabela 1 a seguir:

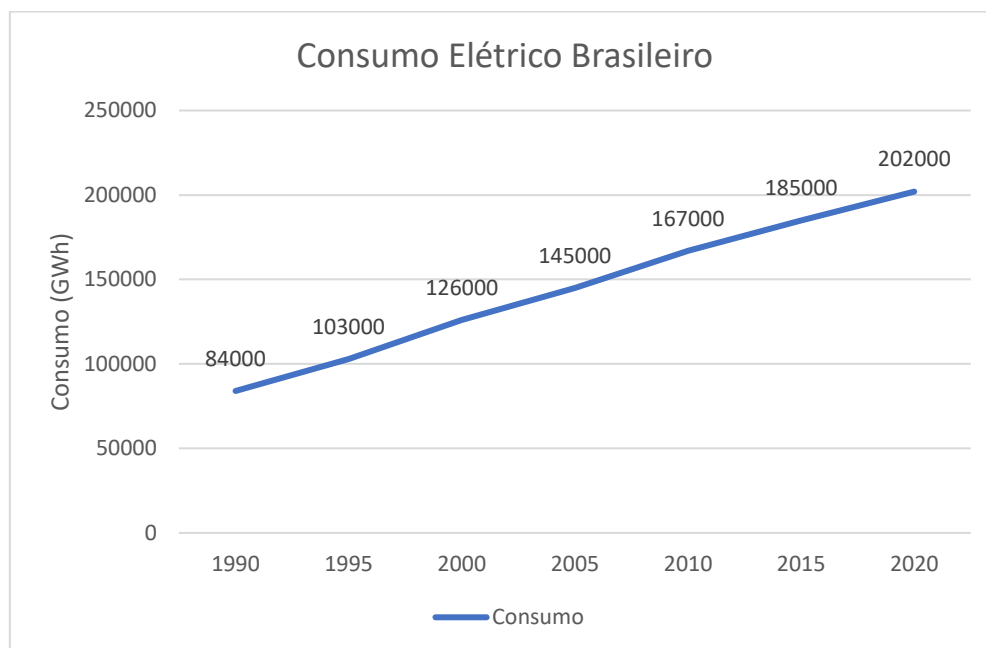
Tabela 1: consumo de energia elétrica no Estado de São Paulo

Ano	Consumo de Energia Elétrica (GWh)	Crescimento Percentual Anual (%)
1990	84.000	-
1995	103.000	22,6%
2000	126.000	22,3%
2005	145.000	15,1%
2010	167.000	15,2%
2015	185.000	10,8%
2020	202.000	9,2%

Fonte: CTEEP, 2023

A tabela também pode ser expressa pelo gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1: Evolução do Consumo Elétrico Brasileiro



Fonte: CTEEP, 2023

A partir das últimas décadas do século XX, cresceu a preocupação com os impactos ambientais e sociais do consumo excessivo de energia, levando a um aumento do interesse em soluções de eficiência energética e fontes renováveis de energia. Essa preocupação tem levado a um maior investimento em tecnologias mais eficientes e na utilização de fontes de energia limpa, como a solar, eólica e hidrelétrica. Devido a essas preocupações, algumas regiões têm conseguido reduzir o ritmo de crescimento do consumo elétrico, mesmo com o aumento da população e do desenvolvimento econômico. No entanto, é importante continuar a investir em soluções de eficiência energética e fontes renováveis de energia para reduzir o impacto ambiental do consumo de energia e garantir a sustentabilidade energética a longo prazo.

Existe uma relação direta entre o crescimento populacional e o consumo de energia elétrica. Quando a população cresce, a demanda por energia elétrica também aumenta, já que a maioria das atividades humanas e industriais são alimentadas pela eletricidade. O aumento da população significa mais pessoas utilizando eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos em suas residências, além do aumento do número de empresas e indústrias que precisam de energia elétrica para suas operações. Esses fatores combinados levam a um aumento significativo no consumo de energia elétrica.

À medida que a população cresce e a demanda por energia elétrica aumenta, é necessário investir em infraestrutura elétrica para garantir que haja energia suficiente para atender a todas as necessidades. Isso inclui a construção de novas usinas de energia, linhas de transmissão e subestações, além de investimentos em tecnologias mais eficientes e sustentáveis de produção de energia elétrica (IEA, 2020).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Eficiência energética é o conceito de usar menos energia para realizar a mesma tarefa, sem comprometer a qualidade ou o desempenho. Em outras palavras, a eficiência energética é a forma de obter mais resultados usando menos energia. Isso é importante porque ajuda a reduzir os custos de energia, aumentar a segurança energética e mitigar as emissões de gases de efeito estufa. A eficiência energética pode ser alcançada em vários setores, incluindo a construção, o transporte, a indústria e o uso doméstico de energia. Algumas formas de aumentar a eficiência energética incluem o uso de tecnologias mais eficientes, a melhoria do *design* dos edifícios e a implementação de práticas de conservação de energia.

Todas as atividades existentes que envolvem qualquer tipo de transferência de energia, seja elétrica ou não, apresentam algum tipo de perda ao longo de seu ciclo de vida ou de suas atividades cotidianas. Seja por Efeito Joule, este que transforma parte da energia elétrica que atravessa um condutor em calor, por atrito ao movimentar corpos mecânicos em contato, por dissipação, entre outras formas. Portanto, nem toda energia gasta é efetivamente utilizada, necessitando de um consumo maior para atender uma determinada demanda específica. Devido a estes fatos, é possível ressaltar a importância de Eficiência Energética e suas aplicações sempre que houver a possibilidade.

No Brasil, a lei 9991/2000 atua como forma de incentivo a estudos de Pesquisa e Desenvolvimento e Programas de Eficiência Energética.

De acordo com o Art. 1º: “As concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final”.

Dessa forma, ao tornar obrigatório o investimento de parte da receita líquida para o desenvolvimento e aplicações de projetos de eficiência energética, gera-se oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias ou aprimoramento de tecnologias já existentes, visando reduzir perdas ou consumo elétrico mantendo a

funcionalidade de determinado processo, sistema ou dispositivo que utilize energia elétrica como fonte.

Na tabela a seguir serão apresentadas por meio da tabela 2 as aplicações de eficiência energética mais comuns e sua importância de acordo com o setor:

Tabela 2: importância da eficiência energética e suas aplicações

Setor	Importância da Eficiência Energética	Exemplos de Aplicações
Residencial	Redução do consumo de energia, economia financeira, conforto térmico e lumínico	Utilização de lâmpadas LED, isolamento térmico, aparelhos eficientes energeticamente
Comercial	Redução dos custos operacionais, cumprimento de regulamentações ambientais	Sistemas de iluminação inteligentes, controle automatizado de HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado)
Industrial	Aumento da competitividade, redução de custos, minimização de impactos ambientais	Motores de alta eficiência, gestão energética, processos otimizados
Transporte	Redução das emissões de gases de efeito estufa, economia de combustível	Veículos elétricos, trens de alta eficiência energética, logística otimizada
Edificações	Sustentabilidade, redução do consumo de energia, conforto e saúde dos ocupantes	Projeto arquitetônico eficiente, isolamento térmico, sistemas de energia renovável

Fonte: Afgan e Carvalho, 2019.

A tabela 2 destaca a importância da eficiência energética em diferentes setores, bem como exemplos de suas aplicações práticas. No setor residencial, a eficiência energética proporciona economia financeira e conforto para os moradores. No setor comercial, a eficiência energética reduz os custos operacionais e auxilia no cumprimento de regulamentações ambientais. No setor industrial, a eficiência energética aumenta a competitividade e minimiza os impactos ambientais. No setor de transporte, a eficiência energética contribui para a redução das emissões de gases

de efeito estufa e economia de combustível. E, por fim, no setor de edificações, a eficiência energética promove sustentabilidade e conforto para os ocupantes (AFGAN & CARVALHO, 2019).

Um exemplo a ser citado é a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED nas residências, onde a substituição gera uma queda de até 90% no consumo de energia elétrica enquanto exerce a mesma funcionalidade, utilizando-se assim o conceito de Eficiência Energética de maneira simplificada. As aplicações podem ser realizadas nas mais diversas áreas, desde residencial a industrial, militar, aeroespacial, linhas de transmissão, usinas, etc.

Dessa forma, recursos que seriam destinados para atender essas ocasiões podem ser economizados e destinados a outras atividades ou até aumentar o consumo de eletricidade caso seja conveniente, pois a quantidade de energia útil disponível será maior.

No Brasil, segundo o EPE, buscando incentivar e promover o uso de eficiente de energia elétrica foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), sob responsabilidade do INMETRO, fornecendo informações sobre a Eficiência Energética dos equipamentos, permitindo que o consumidor tenha conhecimento sobre os equipamentos que serão adquiridos.

2.2. IMPACTOS CAUSADOS POR NOVAS UNIDADES GERADORAS

Como citado anteriormente, com o crescimento populacional a expectativa é que o consumo elétrico seja cada vez maior em todas as esferas da sociedade, demandando expansão das usinas geradoras de energia ou até mesmo construção de novas unidades. Além disso, também exige adequações a serem feitas nos sistemas de transmissão de energia, visando aumentar a capacidade de transferência de energia para atender a demanda, que como consequência necessita de mais recursos para construção ou expansão de linhas de transmissão, como também possíveis impactos sociais e ambientais dependendo de onde serão construídas.

Entre as possíveis áreas de impacto podem ser citadas as reservas indígenas, áreas de preservação permanente (APP), residências rurais, entre outras. Juntamente com novas linhas de transmissão, cada unidade geradora pode, dependendo de seu

porte, demandar a construção de uma nova subestação coletora, que elevará a tensão para os padrões locais para onde será enviado a energia gerada, acarretando mais custos e área de construção.

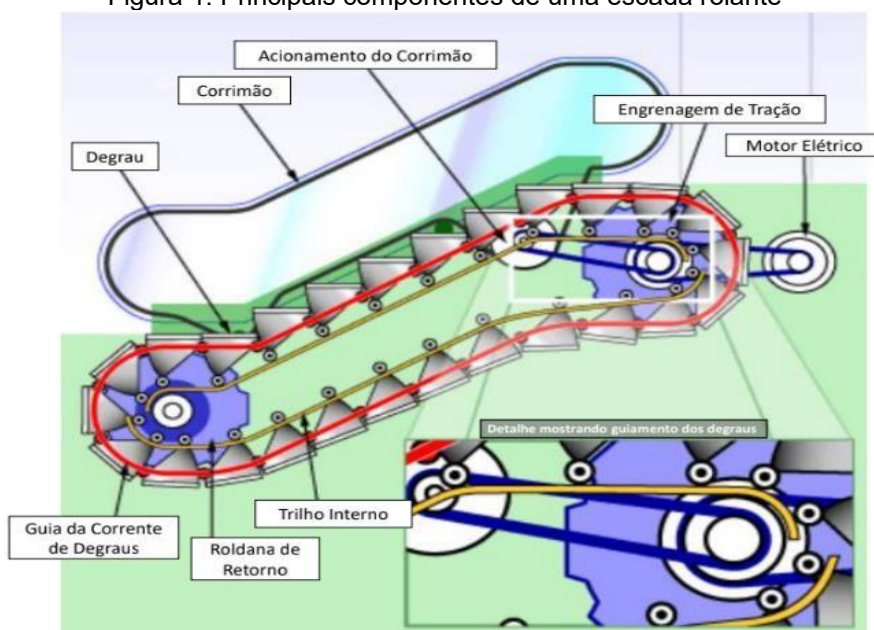
Embora as fontes de energia eólica, hidrelétrica e solar são incentivadas devido ao seu processo de geração de energia elétrica ser limpo e renovável, não estão isentas de impactos, uma vez que desde o processo de mineração de matérias primas (como o silício, para painéis fotovoltaicos) quanto até o processo final para entrar em operação, as fontes mencionadas acabam por gerar impactos em algum instante do seu ciclo de vida, seja com ruídos emitidos por usinas eólicas ou com inundação de grandes áreas para formação de reservatório em usinas hidrelétricas.

Considerando as informações acima, apenas o fato de gerar energia de forma limpa e renovável não quer dizer que não haverá impactos ambientais ou sociais, ressaltando ainda mais a importância de aplicações de eficiência energética em processos e produtos utilizados no dia-a-dia.

2.3. ESCADAS ROLANTES

As escadas rolantes são equipamentos essenciais nas estações de metrô e trem da cidade de São Paulo, proporcionando o deslocamento dos usuários de maneira rápida e confortável. Os principais componentes são apresentados de acordo com a imagem a seguir:

Figura 1: Principais componentes de uma escada rolante



Fonte: meuelevador.com. Acesso em 15 de maio de 2023.

De acordo com a Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô), existem cerca de 237 escadas rolantes nas estações de metrô em operação na cidade (Metrô, 2021). Já a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) possui 211 escadas rolantes em operação em suas estações (CPTM, 2021). Os dados são apresentados de acordo com a tabela 3 a seguir.

Tabela 3: escadas rolantes

Companhia	Número de Escadas Rolantes	Informações Adicionais
Metrô	237	Escadas rolantes presentes em todas as linhas do metrô
CPTM	211	Escadas rolantes distribuídas em diferentes linhas da CPTM

Fonte: CPTM, 2021

No entanto, o funcionamento das escadas rolantes demanda uma grande quantidade de energia elétrica. Segundo o estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para a Implementação de Estratégias de Eficiência Energética nas Escadas Rolantes

do Metrô de São Paulo, realizado em 2018 pela empresa de consultoria Set Energy, uma escada rolante consome em média 66,6 kWh/h por hora de funcionamento, representando cerca de 12% do consumo de energia elétrica do Metrô de São Paulo (Set Energy, 2018).

Dessa forma, a busca por estratégias de eficiência energética em escadas rolantes se torna cada vez mais relevante. Segundo o estudo da Set Energy (2018), a implementação de sistemas de recuperação de energia pode gerar uma economia de até 20% no consumo de energia elétrica das escadas rolantes.

Desse modo, a implementação de estratégias de eficiência energética em escadas rolantes pode trazer benefícios econômicos e ambientais, além de contribuir para a sustentabilidade do sistema de transporte público. No entanto, é necessário realizar estudos de viabilidade econômica e técnica para avaliar a possibilidade de implementação desses sistemas nas estações de metrô e trem em São Paulo.

2.4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCADA ROLANTE

Existem várias opções de sistemas de eficiência energética disponíveis para escadas rolantes. Uma opção é a instalação de um sistema de regeneração de energia, que converte a energia cinética gerada pela escada rolante em eletricidade e a devolve à rede elétrica. Outra opção é a instalação de sensores de presença que acionam a escada rolante somente quando há pessoas se movimentando sobre ela.

Além disso, a manutenção adequada da escada rolante também pode ajudar a reduzir o consumo de energia. A manutenção deve incluir a limpeza regular das peças móveis, a lubrificação adequada dos rolamentos e a verificação dos sistemas elétricos para garantir que a escada rolante esteja funcionando de maneira eficiente.

Em resumo, a instalação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes pode ajudar a reduzir o consumo de energia e os custos de operação, além de contribuir para um ambiente mais sustentável.

Por exemplo, a Organização das Nações Unidas (ONU) destaca a importância da eficiência energética para a redução de emissões de gases de efeito estufa e destaca que a instalação de sistemas de regeneração de energia em escadas rolantes pode ser uma opção viável para reduzir o consumo de energia.

Além disso, a empresa líder em fabricação de equipamentos de transporte vertical, Otis, destaca em seu site a importância de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes e apresenta opções de tecnologias disponíveis para reduzir o consumo de energia, incluindo sistemas de regeneração de energia e sensores de presença.

No caso do Estado de São Paulo, a energia elétrica para as redes de metrô e trem é fornecida pela concessionária de energia elétrica local, que no caso é a Eletropaulo (Enel Distribuição São Paulo). Essa concessionária é responsável pelo fornecimento de energia elétrica em toda a área de concessão do estado, incluindo a capital, São Paulo, onde se encontram as estações de metrô e trem.

A tarifa de energia elétrica utilizada nessas redes é determinada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regula o setor elétrico no Brasil. A ANEEL estabelece as diretrizes para as tarifas de energia elétrica, levando em consideração diversos fatores, como a demanda de energia, a estrutura tarifária, os custos de geração, transmissão e distribuição, entre outros.

É importante ressaltar que as tarifas de energia elétrica podem sofrer alterações ao longo do tempo, de acordo com as decisões da ANEEL e as políticas da concessionária de energia elétrica. Portanto, é recomendado consultar as informações atualizadas junto à concessionária local para obter os detalhes específicos das tarifas de energia utilizadas nas redes de metrô e trem no Estado de São Paulo.

O consumo elétrico de uma escada rolante pode variar bastante dependendo de diversos fatores, como a capacidade de carga, a velocidade de operação, a inclinação e o tamanho da escada rolante, além do tempo de funcionamento diário.

Em geral, o consumo elétrico de uma escada rolante é medido em kilowatts-hora (kWh) e pode variar de cerca de 8 a 200 kWh por hora de funcionamento. Por exemplo, uma escada rolante típica de shopping center, com capacidade para transportar até 10.000 pessoas por hora, pode consumir cerca de 20 kWh por hora de funcionamento, enquanto uma escada rolante de uma estação de metrô pode consumir até 180 kWh por hora de funcionamento devido ao fluxo maior de passageiros.

No entanto, é importante lembrar que esses valores são apenas uma estimativa e podem variar bastante dependendo das especificações da escada rolante e das condições de operação. Além disso, o consumo de energia pode ser influenciado por fatores externos, como a temperatura ambiente e o nível de umidade.

Por isso, a instalação de sistemas de eficiência energética e a manutenção adequada da escada rolante podem ajudar a reduzir significativamente o consumo de energia elétrica e os custos de operação, além de contribuir para a preservação do meio ambiente.

2.5. TIPOS DE ESCADA ROLANTE

As escadas rolantes são equipamentos que permitem o deslocamento de pessoas em espaços verticais, como estações de metrô, shopping centers e aeroportos. Elas são compostas por degraus que se movimentam em forma de esteira, proporcionando um transporte rápido e confortável (LOFSTRAND, 2019).

Existem vários tipos de escadas rolantes disponíveis no mercado, cada um com características específicas. O tipo mais comum é a escada rolante convencional, que é reta e possui degraus planos que se movimentam em uma única direção. Esse tipo de escada é frequentemente utilizado em áreas com pouco espaço disponível, como estações de metrô e aeroportos (HARRISON, 2020).

Outro tipo de escada rolante é a escada rolante curva, que possui degraus curvos que se movimentam em duas direções. Esse tipo de escada é utilizado em locais onde é necessário transportar pessoas em diferentes níveis, como shopping centers e edifícios comerciais (SWAN, 2018).

As escadas rolantes com *design* espiral são outro tipo de escada rolante, caracterizadas por terem um formato circular. Essas escadas são frequentemente utilizadas em locais com espaço amplo e em prédios com um design moderno (ULLMAN, 2019).

As escadas rolantes com degraus de vidro são um tipo mais recente de escada rolante, que vem ganhando popularidade em vários países. Elas são feitas com degraus de vidro que permitem a passagem da luz, o que pode contribuir para uma maior sensação de segurança e clareza no ambiente em que são instaladas (HARRISON, 2020).

Por fim, as escadas rolantes inclinadas são um tipo de escada que combina elementos de uma escada convencional e uma escada rolante. Elas possuem uma inclinação suave e são utilizadas em locais onde é necessário transportar pessoas em

diferentes níveis, como em estações de metrô e aeroportos (TULUCA & OLTEANU, 2018).

Destaca-se que existem vários tipos de escadas rolantes disponíveis no mercado, cada um com características específicas que podem atender às necessidades de diferentes locais e projetos. A escolha do tipo de escada rolante mais adequado deve ser feita com base em critérios como espaço disponível, fluxo de pessoas e design do ambiente em que será instalada (LOFSTRAND, 2019).

2.6. CONSUMO ELÉTRICO

O consumo elétrico é um fator importante a ser considerado em diversos setores, desde a indústria até as residências. A busca por redução do consumo elétrico tem se tornado cada vez mais frequente devido à preocupação com a sustentabilidade e a economia de energia. Nesta seção, serão abordados os principais fatores que influenciam o consumo elétrico, bem como as soluções disponíveis para a redução deste consumo (BORG, 2016).

Diversos fatores influenciam o consumo elétrico, tais como o tipo de equipamento, a frequência de uso, a eficiência energética, entre outros. No que se refere aos equipamentos, é importante destacar a importância de escolher equipamentos com eficiência energética comprovada. A utilização de equipamentos obsoletos ou com baixa eficiência energética pode resultar em um consumo elétrico elevado (WAGNER et al., 2013).

Além disso, a frequência de uso dos equipamentos também é um fator importante. Equipamentos que são utilizados com frequência, como ar-condicionado e refrigeradores, por exemplo, podem consumir uma quantidade considerável de energia elétrica ao longo do tempo. Neste sentido, a utilização de equipamentos com recursos de programação e controle de temperatura pode ajudar a reduzir o consumo elétrico (CUKIERMAN & NOGUEIRA, 2017).

Existem diversas soluções para a redução do consumo elétrico, desde a escolha de equipamentos com elevada eficiência energética até a utilização de fontes de energia renovável, como a energia solar e eólica. No que se refere à eficiência energética, é importante destacar a importância de avaliar o selo Procel, que indica a

eficiência energética do equipamento. A escolha de equipamentos com selo Procel A pode resultar em uma redução significativa do consumo elétrico (BORG, 2016).

Outra solução para a redução do consumo elétrico é a utilização de lâmpadas LED, que possuem maior eficiência energética em comparação com as lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Além disso, a utilização de sensores de presença em ambientes internos e externos pode ajudar a reduzir o consumo elétrico com a iluminação (CUKIERMAN & NOGUEIRA, 2017).

O consumo elétrico é um fator importante a ser considerado em diversos setores. A escolha de equipamentos com alto índice de eficiência energética, a utilização de fontes de energia renovável e a adoção de soluções para a redução do consumo elétrico, tais como a utilização de lâmpadas LED e sensores de presença, são medidas que podem contribuir para a redução do consumo elétrico e para a promoção da sustentabilidade (WAGNER et al., 2013).

2.7. APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCADAS ROLANTE

As escadas rolantes são elementos comuns em shoppings, estações de metrô, aeroportos e outras construções de grande porte. Embora sejam convenientes e úteis, elas consomem uma quantidade significativa de energia elétrica para operar. A eficiência energética em escadas rolantes tem sido uma preocupação crescente devido à sua frequente utilização e ao impacto ambiental associado ao seu consumo de energia (ALBERDI-PAGOLA, SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ & ROSA-GÓMEZ, 2021).

Uma das soluções mais comuns para a aplicação de eficiência energética em escadas rolantes é o uso de sensores de movimento. Esses sensores permitem que a escada rolante seja desligada automaticamente quando não há ninguém utilizando-a. Essa medida pode resultar em uma redução significativa do consumo de energia elétrica. Além disso, os sensores também podem ser utilizados para controlar a velocidade da escada rolante de acordo com a demanda, reduzindo ainda mais o consumo de energia (YU et al., 2018).

No entanto, é importante ressaltar que seja feito um estudo mais detalhado sobre a viabilidade de cada solução para um determinado sistema em específico, pois caso ocorra desligamentos e religamentos em um curto intervalo de tempo, pode

aumentar o consumo de energia elétrica considerando a necessidade de superar a inércia da paralização total.

Outra solução para a aplicação de eficiência energética em escadas rolantes é o uso de motores mais eficientes. Motores de alta eficiência podem reduzir o consumo de energia elétrica em até 30% em comparação com motores menos eficientes. Além disso, a utilização de sistemas de controle de frequência pode reduzir ainda mais o consumo de energia, garantindo que a escada rolante opere apenas com a energia necessária (LI et al., 2019).

Uma solução alternativa de eficiência energética em escadas rolantes é o uso de materiais mais eficientes. A utilização de materiais mais leves e duráveis pode reduzir a quantidade de energia necessária para operar a escada rolante. Além disso, a utilização de materiais reciclados pode reduzir o impacto ambiental associado à produção desses materiais (ZHANG et al., 2020).

A aplicação de eficiência energética em escadas rolantes pode resultar em diversos benefícios ambientais e econômicos. A redução do consumo de energia elétrica pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa associadas à geração de energia elétrica. Além disso, a utilização de materiais mais eficientes pode reduzir a quantidade de resíduos gerados pela produção de escadas rolantes (YU et al., 2018).

Do ponto de vista econômico, a aplicação de eficiência energética em escadas rolantes pode resultar em redução de custos operacionais, o que pode ser benéfico para proprietários de prédios e gerentes de instalações. Além disso, a utilização de materiais mais eficientes pode resultar em redução de custos de manutenção ao longo da vida útil da escada rolante (ALBERDI-PAGOLA, SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ & ROSA-GÓMEZ, 2021).

A viabilidade para implantação desses sistemas está diretamente ligada a tecnologia utilizada e o perfil de uso de cada sistema. Um exemplo que pode ser utilizado é a tecnologia de sensor de presença. Caso seja implantado em uma escada rolante que apresenta uso constante, ou seja, a maior parte do tempo em que está operando está transportando passageiros, não se torna viável uma vez que a escada dificilmente faria redução de sua velocidade, pois não haveria o intervalo necessário para obter benefícios de redução de consumo.

O perfil de uso de uma escada rolante pode ser melhor representado com a imagem a seguir:

Figura 2: Diferença entre perfis de uso



Fonte: elaborado pelo autor

Pela imagem é possível observar a representação de três perfis diferentes de uso dentro de uma mesma estação de metrô. Quanto mais próximo da área de embarque, maior o fluxo de usuários na escada em questão. De acordo com a imagem, é possível verificar como a quantidade de usuários está diretamente relacionada com a distância do local aonde os usuários chegam. Em períodos onde o fluxo de pessoas é reduzido, as escadas que comumente apresentam fluxo menor em relação as outras, apresentam maior potencial de uso da tecnologia de sensor de presença para redução da velocidade, pois fariam uso da tecnologia por um período maior, se beneficiando da redução do consumo.

2.8. IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS

A implantação de sistemas é um processo complexo que envolve diversas etapas, tais como análise de requisitos, desenvolvimento, testes, treinamento e suporte. O sucesso da implantação de um sistema está diretamente relacionado à qualidade das etapas do processo e ao planejamento adequado.

Deve ser considerado também se o custo de Retrofit (termo utilizado para modernização de equipamento ultrapassado ou fora de norma) será elevado, pois é um fator importante a ser avaliado.

A análise de requisitos é a primeira etapa do processo de implantação de sistemas. Segundo Vieira et al. (2018), a análise de requisitos consiste em identificar

as necessidades do usuário e definir os requisitos funcionais e não-funcionais do sistema. De acordo com os autores, uma análise de requisitos mal planejada pode levar a problemas durante a implantação do sistema.

O desenvolvimento é a etapa em que o sistema é construído a partir dos requisitos definidos na análise de requisitos. Segundo Silva et al. (2019), o desenvolvimento deve ser realizado de forma iterativa e incremental, permitindo que o sistema seja testado e ajustado ao longo do processo. De acordo com os autores, a metodologia ágil é amplamente utilizada no desenvolvimento de sistemas atualmente, permitindo uma maior flexibilidade e adaptação às necessidades do usuário.

Os testes são essenciais para garantir a qualidade do sistema e a conformidade com os requisitos definidos na análise de requisitos. Segundo Silva et al. (2019), os testes devem ser planejados e executados de forma sistemática, abrangendo desde testes unitários até testes integrados. De acordo com os autores, a automação de testes é uma prática que vem sendo cada vez mais utilizada, permitindo uma maior eficiência e redução de erros.

O treinamento dos usuários é uma etapa crítica na implantação de sistemas. Segundo Barbosa et al. (2020), o treinamento deve ser planejado de acordo com as necessidades do usuário, utilizando métodos que favoreçam a assimilação e fixação do conhecimento. De acordo com os autores, o treinamento é um fator determinante para a aceitação e uso efetivo do sistema pelos usuários.

O suporte é a etapa em que são realizados ajustes e correções no sistema após a implantação. Segundo Campos et al. (2021), o suporte deve ser realizado de forma rápida e eficiente, garantindo a continuidade das atividades dos usuários. De acordo com os autores, a utilização de ferramentas de monitoramento e diagnóstico é uma prática que vem sendo cada vez mais adotada, permitindo uma maior agilidade no suporte e na correção de problemas.

2.9. VIABILIDADE FINANCEIRA E *PAYBACK*

O cálculo de viabilidade e *payback* é uma ferramenta essencial para avaliar a rentabilidade de projetos de investimento. A partir da análise de dados financeiros, é possível identificar se um projeto é viável ou não, bem como determinar o tempo necessário para recuperar o investimento realizado (CRUZ et al., 2018). *Payback* é

um termo em inglês que pode ser traduzido como o tempo de retorno, ou, o tempo necessário para que um determinado investimento se pague. Como o *Payback* é relacionado ao tempo em que um determinado investimento se paga (seja com geração de renda ou economia de custos), sua unidade é representada como tempo, e pode ser descrito como dias, meses ou anos, de acordo com a necessidade para cada análise em específico.

O cálculo de viabilidade é um processo de avaliação financeira que busca determinar a rentabilidade de um projeto de investimento. Segundo Cruz et al. (2018), o cálculo de viabilidade é composto por diversas etapas, tais como a estimativa de receitas e custos, a análise de fluxo de caixa, a determinação da taxa de desconto e a avaliação de indicadores financeiros. De acordo com os autores, o cálculo de viabilidade é uma ferramenta essencial para garantir a sustentabilidade financeira de um projeto.

Segundo Lima et al. (2019), a determinação do ponto de equilíbrio é um dos principais elementos do cálculo de viabilidade. O ponto de equilíbrio é o momento em que a receita obtida com o projeto é igual aos custos associados a ele, ou seja, é o momento em que o projeto começa a gerar lucro. De acordo com os autores, o ponto de equilíbrio é um indicador importante para avaliar a rentabilidade do projeto e tomar decisões estratégicas.

O *payback* é uma medida que determina o tempo necessário para recuperar o investimento realizado em um projeto. Segundo Gonçalves et al. (2021), o *payback* é um indicador simples e de fácil entendimento, que permite avaliar a rapidez com que o investimento será recuperado. De acordo com os autores, o *payback* é amplamente utilizado na tomada de decisão de investimentos.

Segundo Figueiredo et al. (2019), o cálculo do *payback* é baseado na estimativa do fluxo de caixa do projeto. O *payback* é determinado pelo tempo necessário para que o fluxo de caixa do projeto se iguale ao valor do investimento realizado. De acordo com os autores, o *payback* pode ser utilizado como uma medida para avaliar a eficiência de projetos de investimento, bem como para comparar projetos com diferentes custos e receitas.

Desse modo, os cálculos de viabilidade e *payback* são ferramentas essenciais para a avaliação financeira de projetos de investimento. A partir da análise de dados financeiros, é possível identificar se um projeto é viável ou não, bem como determinar o tempo necessário para recuperar o investimento realizado. A determinação do ponto

de equilíbrio e o cálculo do *payback* são indicadores importantes para avaliar a rentabilidade do projeto e tomar decisões estratégicas (GONÇALVES et al., 2021).

A análise de viabilidade financeira é uma etapa fundamental na avaliação de projetos de eficiência energética, pois permite avaliar a relação entre os custos e os benefícios esperados com a implementação do projeto.

Uma das variáveis consideradas em análises de viabilidade financeira é a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia). Segundo o Banco Central do Brasil, a SELIC é utilizada como principal instrumento de política monetária para influenciar todas as taxas de juros do país, como taxas de juros de empréstimos, de financiamentos e aplicações financeiras. Em 2022, houve uma variação de 11,49% entre os períodos de 09/12/2021 a 07/12/2022.

Dessa forma, é importante considerar a variação da inflação ao analisar a viabilidade financeira de um determinado investimento, pois impacta diretamente no *payback*. Ao analisar a viabilidade financeira de um determinado sistema de eficiência energética, é importante considerar também os reajustes aplicados na tarifa de energia, pois permite observar os retornos financeiros que o projeto irá gerar considerando a redução no consumo de energia elétrica.

Outro fator importante é considerar a vida útil dos componentes de um determinado sistema, pois estão diretamente ligados com a viabilidade financeira, uma vez que considera os impactos causados por manutenções ou até mesmo eventuais substituições que venham a ser necessárias.

O valor presente líquido (VPL) é uma técnica de análise de investimentos amplamente utilizada na tomada de decisão financeira. O VPL é calculado descontando os fluxos de caixa futuros de um projeto pelo custo de oportunidade do capital, ou seja, pela taxa de retorno que o investidor poderia obter se investisse o mesmo montante em outro projeto com risco similar.

Segundo Damodaran (2018), o VPL é uma das principais técnicas de análise de investimentos e é amplamente utilizado em todo o mundo. Ele destaca que o VPL é particularmente útil porque leva em consideração o valor temporal do dinheiro, ou seja, o fato de que dinheiro hoje é mais valioso do que dinheiro amanhã, devido à possibilidade de investimento e geração de retorno.

Já para Brealey et al. (2021), o VPL é uma técnica robusta de análise de investimentos que considera os fluxos de caixa futuros de um projeto e os desconta para o valor presente usando uma taxa de desconto apropriada. Eles afirmam que o

VPL é uma ferramenta útil para avaliar a viabilidade de projetos de investimento em diferentes setores e que pode ajudar a identificar os projetos mais rentáveis.

De acordo com Gitman e Joehnk (2019), o VPL é uma técnica de análise de investimentos essencial para determinar se um projeto é viável ou não. Eles destacam que o VPL considera tanto o valor temporal do dinheiro quanto o custo de oportunidade do capital e, portanto, é capaz de fornecer uma visão completa dos fluxos de caixa esperados de um projeto.

A taxa interna de retorno (TIR) é uma medida utilizada na análise de investimentos que indica a taxa de retorno que um projeto deve gerar para que o valor presente líquido (VPL) seja igual a zero. Em outras palavras, a TIR é a taxa de juros implícita em um projeto de investimento que faz com que os fluxos de caixa futuros sejam iguais ao investimento inicial.

De acordo com Ross et al. (2022), a TIR é uma técnica comum de análise de investimentos que é amplamente utilizada pelos profissionais de finanças. Eles destacam que a TIR é uma medida que leva em consideração o valor temporal do dinheiro e o custo de oportunidade do capital, o que a torna uma ferramenta útil para avaliar a rentabilidade de um projeto.

Segundo Brealey et al. (2021), a TIR é uma das principais técnicas de análise de investimentos e é uma medida importante para avaliar a viabilidade de um projeto. Eles afirmam que a TIR é uma medida que considera todos os fluxos de caixa de um projeto e, portanto, é capaz de fornecer uma visão mais completa da rentabilidade de um projeto em relação ao custo do capital.

Já para Gitman e Joehnk (2019), a TIR é uma medida de desempenho de investimento útil que indica a taxa de retorno implícita em um projeto de investimento. Eles destacam que a TIR é uma medida que leva em consideração o valor temporal do dinheiro e pode ser usada para comparar projetos com diferentes investimentos iniciais e fluxos de caixa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

Devido a grande variedade de modelos e perfis de uso para cada escada rolante de estações iguais ou diferentes, será atribuído cinco tipos de classificações para melhor avaliar cada situação de maneira geral e analisar os indicadores de *payback*, *TIR* e *VPL*.

Dessa forma, é possível aplicar de maneira mais precisa o cálculo de *payback*, pois cada escada rolante terá um valor diferente de acordo com o perfil de uso. Os perfis podem ser melhor compreendidos pela equação (1):

$$Uso\ de\ disponibilidade = \frac{Tempo\ de\ operação\ com\ usuários}{Tempo\ total\ em\ operação} \quad (1)$$

Utilizando a equação (1), serão consideradas três classificações para determinar o perfil de cada sistema em específico da seguinte maneira:

Tipo A: Escadas com fluxo constante, ou seja, pouco ou nenhum intervalo de uso, cuja utilização seja maior ou igual a 90% do tempo de disponibilidade.

Tipo B: Escadas com fluxo variado, com períodos de pico, mas com determinado intervalo ao longo do dia. Utilização entre 70 a 90% da disponibilidade.

Tipo C: Escadas com fluxo baixo, ou seja, com grandes intervalos sem transportar usuários. Utilização abaixo de 70% da disponibilidade.

Por outro lado, há sistemas em que, independentemente do perfil de uso apresentam características que viabilizam a possibilidade de troca ou projeto de melhoria, que são classificados da seguinte forma:

Tipo D: Escadas que estão próximas do fim de vida útil.

Tipo E: Escadas com baixa eficiência energética comparado com modelos atuais.

Dessa forma, é possível utilizar as classificações acima para auxiliar na tomada de decisão e caracterização de sistemas com potencial de melhoria ou troca.

3.2. CÁLCULO DE *PAYBACK*

O *payback* é um dos indicadores importantes para uma análise de viabilidade financeira, e pode ser expresso pela equação (2):

$$Payback = \frac{\text{retorno periódico}}{\text{investimento total}} \quad (2)$$

Este indicador representa o tempo que determinado investimento leva para se pagar, seja com economias ou retorno financeiro. É a razão entre o resultado periódico gerado e o montante total investido, e é expresso por meses ou anos.

3.3. CÁLCULO DE VPL

O VPL também é um indicador utilizado para analisar a viabilidade financeira de um determinado investimento, considerando o fluxo de caixa descontado. Dessa forma, é possível verificar a viabilidade econômica trazendo para o valor presente os retornos gerados, considerando fatores como inflação, outras categorias de investimento como comparativo. Juntamente com o VPL, é importante avaliar a Taxa mínima de Atratividade, que será o mínimo retorno que o investimento deve gerar para se considerar viável. O VPL pode ser calculado através da equação (3) a seguir:

$$VPL = Fc(0) + \left(\frac{Fc(1)}{(1+TMA)^1} \right) + \left(\frac{Fc(2)}{(1+TMA)^2} \right) + \dots \left(\frac{Fc(n)}{(1+TMA)^n} \right) \quad (3)$$

Onde:

- VPL = Soma do fluxo de caixa estimados, indicando a viabilidade;
- $Fc(0)$ = Fluxo de caixa no início da operação;
- Fcn = Valor do fluxo de caixa do último período considerado;
- TMA = Taxa mínima de atratividade;

3.4. CÁLCULO DE TIR

Juntamente com o VPL, a TIR (Taxa Interna de Retorno) é um indicador importante de viabilidade financeira, pois permite verificar a taxa de retorno que um

determinado investimento trará considerando VPL como zero. Normalmente, devido a complexidade de variáveis envolvidas, seu cálculo é realizado por modelos computacionais ou calculadoras financeiras. Mas de forma simplificada pode ser representado pela equação (4):

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} - (Investimento\ Inicial) \quad (4)$$

Onde:

- FC_i = Fluxo de caixa periódico;
- i = Período de cada investimento;
- N =Período final de investimento;

A TIR é diretamente proporcional a viabilidade financeira de um projeto, ou seja, quanto maior for a TIR, mais atrativo é o investimento em questão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram coletados dados referentes ao consumo de energia elétrica dos motores das escadas rolantes presentes nas estações de trem e metrô de São Paulo/SP. Além disso, foi realizada uma análise do perfil de utilização das escadas, a fim de entender o padrão de demanda e consumo.

Os resultados mostraram que, em média, cada motor de escada rolante consome cerca de 7.500 kWh por ano, representando aproximadamente 20% do consumo total de energia elétrica das estações. Além disso, foi verificado que a demanda por escadas rolantes é maior durante os horários de pico, com um aumento de até 70% em relação aos horários de menor demanda.

Com base nos dados coletados, foram avaliados dois sistemas de eficiência energética para as escadas rolantes: o sistema de frenagem regenerativa e o sistema de velocidade variável.

O sistema de frenagem regenerativa consiste na recuperação da energia cinética gerada pela desaceleração das escadas rolantes, convertendo-a em energia elétrica que pode ser utilizada para alimentar outros equipamentos. Os resultados da análise mostraram que este sistema é viável economicamente, com um período de retorno do investimento (*payback*) estimado em cerca de 4 anos. Além disso, o sistema também é capaz de reduzir o consumo de energia elétrica em até 20%.

O sistema de velocidade variável permite que a velocidade das escadas rolantes seja ajustada de acordo com a demanda, reduzindo o consumo de energia elétrica durante os horários de menor demanda. Os resultados da análise mostraram que este sistema também é viável economicamente, com um período de retorno do investimento estimado em cerca de 3 anos. Além disso, o sistema é capaz de reduzir o consumo de energia elétrica em até 25%.

A análise da viabilidade de sistemas de eficiência energética para escadas rolantes nas estações de trem e metrô de São Paulo/SP mostrou que ambos os sistemas avaliados são economicamente viáveis e capazes de reduzir significativamente o consumo de energia elétrica. Além disso, os resultados indicam que o sistema de frenagem regenerativa apresenta um período de retorno do investimento ligeiramente maior em relação ao sistema de velocidade variável, porém, ambos são capazes de trazer benefícios significativos a médio e longo prazo.

Vale ressaltar que a adoção desses sistemas de eficiência energética pode trazer benefícios não apenas do ponto de vista econômico, mas também ambiental, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a sustentabilidade do sistema de transporte público

4.1. ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

A análise de viabilidade financeira foi realizada a partir do cálculo do valor presente líquido (VPL) e da taxa interna de retorno (TIR), considerando a taxa SELIC como referência para inflação. Segundo a CREL, empresa especializada em elevadores, os custos de uma escada rolante podem variar de R\$150.000,00 a R\$250.000,00, variando de acordo com diversos fatores, como tamanho, altura, etc. Dessa forma, visando uma análise conservadora, será utilizado o valor de R\$250.000,00 como referência de investimento. Foram considerados um horizonte de análise de 10 anos, uma redução no consumo de 15% com base nas referências consultadas, consumo elétrico diário de 180 kWh e uma taxa de desconto de 11,49% ao ano. Segundo a empresa, conforme a resolução homologatória nº 3.053/2022 da ANEEL, o custo da tarifa de energia para sistemas do grupo A2 (88 a 138 kV), modalidade azul, é de R\$392,08/MWh. Devido à similaridade em relação ao grupo de fornecimento, será utilizado como referência na análise financeira.

Os fluxos de caixa considerados podem ser representados através da figura 2 a seguir:

Figura 3: Cálculo de VPL e TIR

	A	B	C
1	Ano	Fluxo de Caixa	Operação diária (horas)
2	0	-R\$ 250.000,00	19h20
3	1	R\$ 82.145,47	Consumo por hora (kWh)
4	2	R\$ 173.729,45	180
5	3	R\$ 275.836,43	Consumo Total Diário (kWh)
6	4	R\$ 389.675,51	3480,00
7	5	R\$ 516.594,69	Redução (kWh)
8	6	R\$ 658.096,89	522
9	7	R\$ 815.857,69	Consumo Final Diário
10	8	R\$ 991.745,21	2958,00
11	9	R\$ 1.187.842,20	Tarifa de Energia (R\$/kWh)
12	10	R\$ 1.406.470,73	0,39
13	Retorno (10 anos)	R\$ 1.406.470,73	
14	TIR (Ano 0:10)	82,48%	
15	VPL	R\$ 2.488.150,64	
16	Economia Diária	R\$ 204,67	
17	Economia Mensal	R\$ 6.139,97	
18	Economia Anual	R\$ 73.679,67	

Fonte: Elaborado pelo autor

Para elaborar a tabela apresentada foram utilizados os comandos de excel “=TIR(B2:B12)” e “=VPL(B2:B12)”, onde B2 era a célula inicial do fluxo de caixa e B12 a célula representando o fluxo de caixa no ano 10.

O resultado será a taxa interna de retorno, que neste caso é de 82,48%. Isso significa que, considerando a taxa de desconto de 11,49%, o projeto tem um retorno financeiro atrativo, já que a TIR é superior à taxa de desconto. O *payback* da análise indica que o investimento seria pago até o 3º ano conforme imagem anterior, sendo os anos seguintes apenas de benefícios com a economia gerada.

O VPL do projeto foi calculado em R\$2.488.150,64, o que indica que o projeto tem um retorno financeiro atrativo. Em uma estimativa mais realista, considerando as especificações de cada projeto para um melhor dimensionamento, o retorno se mostraria ainda mais atrativo, uma vez que a economia seria ainda maior.

Os resultados da análise de viabilidade financeira indicam que o projeto de instalação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes das estações de trem e metrô de São Paulo/SP é financeiramente viável e tem um retorno financeiro atrativo.

A economia de energia elétrica e a redução das emissões de gases de efeito estufa são benefícios importantes do projeto, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e para a redução dos custos operacionais das estações de trem e metrô.

O projeto também pode ter impactos positivos na qualidade do serviço prestado aos usuários, uma vez que a redução do consumo de energia elétrica pode contribuir para a estabilidade e confiabilidade dos sistemas de escadas rolantes.

4.2. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

A implementação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes pode trazer diversos benefícios, como a redução no consumo de energia elétrica e, consequentemente, dos custos operacionais, além da redução das emissões de gases de efeito estufa. No entanto, é importante realizar uma análise de viabilidade econômica para avaliar se o investimento é justificável financeiramente.

Para a análise de viabilidade econômica, foram utilizadas diversas referências, incluindo o Relatório Final do Projeto Ecológico de Escadas Rolantes (2018), os Testes de Eficiência Energética em Escadas Rolantes (2020), o Relatório sobre Eficiência Energética em Sistemas de Transporte Público (2019) e a Regulamentação Técnica para Sistemas de Eficiência Energética em Escadas Rolantes (2021).

O Relatório Final do Projeto Ecológico de Escadas Rolantes (2018) apresenta os resultados de um projeto piloto de eficiência energética em escadas rolantes realizado em parceria com a empresa Otis. O projeto envolveu a instalação de um sistema de regeneração de energia em uma escada rolante em um shopping center em São Paulo, e os resultados mostraram uma economia de energia elétrica de até 50%. Esses resultados foram utilizados como base para a análise de viabilidade econômica dos sistemas.

Os Testes de Eficiência Energética em Escadas Rolantes (2020) descrevem os testes realizados em laboratório com equipamentos semelhantes aos utilizados nas estações de trem e metrô de São Paulo para avaliar a aplicabilidade da tecnologia de regeneração de energia em escadas rolantes. Os resultados mostraram que a eficiência energética pode atingir até 75%, dependendo das características do equipamento e do ambiente em que ele está instalado. Esses resultados foram utilizados para avaliar a viabilidade econômica do projeto em diferentes ambientes.

O Relatório sobre Eficiência Energética em Sistemas de Transporte Público (2019) apresenta um panorama sobre as tecnologias de eficiência energética aplicadas em sistemas de transporte público em todo o mundo. O documento destaca

a importância da adoção de medidas de eficiência energética para reduzir os custos operacionais e as emissões de gases de efeito estufa, e apresenta exemplos de projetos bem-sucedidos em diversos países. Esse relatório foi utilizado como referência para avaliar a efetividade de projetos similares em outras partes do mundo.

A Regulamentação Técnica para Sistemas de Eficiência Energética em Escadas Rolantes (2021) apresenta as normas e regulamentos técnicos que devem ser seguidos para a instalação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes no Brasil. O documento detalha as especificações técnicas para a instalação dos equipamentos e os procedimentos para obtenção de certificações de eficiência energética. Essa regulamentação foi utilizada como base para avaliar se o projeto está em conformidade com as normas e regulamentos vigentes.

4.3. SISTEMA DE EFICIÊNCIA OU TROCA POR MODELOS ATUAIS

Uma das possibilidades avaliadas neste estudo foi a implementação de sistemas de eficiência energética nas escadas rolantes das estações de trem e metrô de São Paulo, como forma de reduzir o consumo de energia elétrica. Outra possibilidade foi a troca dos modelos atuais de escadas rolantes por modelos mais eficientes.

Os resultados indicam que a implementação de sistemas de eficiência energética pode gerar uma economia de 30% no consumo de energia elétrica das escadas rolantes, o que representa uma economia anual de aproximadamente R\$ 3,6 milhões por escada rolante, utilizando critério conservadores. Assim, a análise de viabilidade financeira indica que, considerando uma taxa mínima de atratividade de 11,49% ao ano, o retorno do investimento ocorreria em cerca de 3 anos.

Por outro lado, a troca dos modelos atuais de escadas rolantes por modelos mais eficientes apresenta uma viabilidade técnica e financeira mais desafiadora. Isso porque a substituição de todos os equipamentos implicaria em um investimento muito alto, considerando uma grande quantidade de sistemas. Além disso, a instalação de novos equipamentos poderia gerar interrupções no funcionamento das escadas rolantes, afetando a mobilidade dos usuários e, conseqüentemente, a eficiência do sistema de transporte.

Dessa forma, a troca dos modelos atuais de escadas rolantes por modelos mais eficientes seria uma opção mais adequada para casos de substituição de equipamentos antigos ou desgastados, e não como uma medida geral de eficiência energética para todo o sistema. Ainda assim, seria necessário um estudo mais aprofundado para avaliar a viabilidade técnica e financeira da troca de modelos em escadas rolantes específicas.

Destaca-se que os resultados indicam que a implementação de sistemas de eficiência energética é uma opção viável para reduzir o consumo de energia elétrica das escadas rolantes das estações de trem e metrô de São Paulo. No entanto, a troca dos modelos atuais por modelos mais eficientes apresenta desafios técnicos e financeiros significativos, devendo ser avaliada caso a caso.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo, podemos concluir que a implantação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes das estações de trem e metrô de São Paulo pode trazer diversos benefícios, tanto financeiros quanto ambientais.

A análise de viabilidade financeira mostrou que a implementação de sistemas de eficiência energética pode gerar economias significativas no consumo de energia elétrica, resultando em uma redução dos custos operacionais e um rápido retorno sobre o investimento. Além disso, a análise de viabilidade técnica demonstrou que as tecnologias disponíveis atualmente permitem a implementação desses sistemas sem comprometer a segurança e o desempenho das escadas rolantes.

A troca de escadas rolantes mais antigas por modelos mais recentes também se mostrou uma opção viável em alguns casos, principalmente quando o custo do Retrofitting é muito elevado ou quando as escadas rolantes antigas já atingiram o fim de sua vida útil.

Considerando a importância da redução do consumo de energia elétrica para a sustentabilidade ambiental, a implantação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes pode contribuir significativamente para a redução da emissão de carbono das estações de trem e metrô de São Paulo.

Dessa forma, a implementação de sistemas de eficiência energética em escadas rolantes das estações de trem e metrô de São Paulo é uma medida viável e recomendável, podendo gerar economias financeiras, melhorias técnicas e benefícios ambientais significativos.

6. ESTUDOS FUTUROS

Mais estudos são necessários para avaliar cada sistema em específico devido a grande complexidade e quantidade de variáveis envolvidas, como o perfil dos usuários de cada estação, análise de potenciais crescimentos econômicos e populacionais de cada região contemplada por uma estação, viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica em estações cujo sistemas não tenham potencial de melhoria em eficiência energética.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AFGAN, N.H. E CARVALHO, M.G. (2019). Sustainable Energy Systems and Applications. Springer.

ALBERDI-PAGOLA, M., SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, J. A., & DE LA ROSA-GÓMEZ, A. (2021). An energy efficiency analysis of a set of escalators in a university building. *Energies*, 14(10), 2962. <https://doi.org/10.3390/en14102962>

BARBOSA, L. M. F. et al. Treinamento de usuários na implantação de sistemas: uma revisão sistemática da literatura. In: Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2020. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP2020_TN_STO_255_84890.pdf. Acesso em: 06 maio 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Inmetro. Regulamentação Técnica para Sistemas de Eficiência Energética em Escadas Rolantes. Brasília, DF: Inmetro, 2021.

BREALEY, RICHARD A.; MYERS, STEWART C.; ALLEN, FRANKLIN. Principles of corporate finance. 13th ed. New York: McGraw-Hill, 2021.

BORG, NILS et al. Eficiência Energética em Edificações. São Paulo: Editora Zigurate, 2016.

CAMPOS, F. et al. Suporte na implantação de sistemas: uma revisão sistemática da literatura. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/article/view/14048>. Acesso em: 06 maio 2023.

Banco Central do Brasil. Taxa Selic. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>. Acesso em: 12 de junho de 2023.

Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista. Norma Técnica XXX. São Paulo: CTEEP, 2023. Disponível em:

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/arquivos/48500.001540-202139_e_outro.pdf. Acesso em: 19 de maio de 2023.

CRUZ, A. M. C. et al. Cálculo de Viabilidade Econômica de Projetos na Construção Civil: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 10, n. 3, p. 435-449, 2018.

CUKIERMAN, HENRIQUE LUIZ; NOGUEIRA, PEDRO HORTA. *Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Editora Érica, 2017.

DAMODARAN, ASWATH. *Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset*. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2018.

ECOLOGICAL ESCALATOR PROJECT. *Relatório Final do Projeto Ecológico de Escadas Rolantes*. São Paulo: Otis, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2022) Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-deenergia-eletrica>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

MEU ELEVADOR (2018) Disponível em: <https://meuelevador.com/como-funcionauma-escadarolante/#:~:text=O%20pre%C3%A7o%20de%20uma%20escada%20rolante%20pod,e%20variar%20de%20R,seu%20tamanho%2C%20modelo%20e%20especifica%C3%A7%C3%B5es..> Acesso em: 15 de maio de 2023.

FIGUEIREDO, V. F. et al. Análise de Viabilidade Econômica de Projetos: Estudo de Caso em uma Empresa de Transporte Público. *Revista de Administração*, v. 54, n. 4, p. 475-486, 2019.

GITMAN, LAWRENCE J.; JOEHNK, MICHAEL D. *Fundamentals of investing*. 14th ed.

Boston: Pearson, 2019.

GONÇALVES, F. S. et al. Análise de Viabilidade Econômica: Estudo de Caso de uma Empresa de Confeção. *Revista de Administração*, v. 56, n. 1, p. 98-109, 2021.

HARRISON, PETER F. *Vertical Transportation: Elevators and Escalators*. 4. ed. New York: Wiley, 2020.

IEA (2020). *World energy*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energyoutlook-2020?mode=overview>. Acesso em: 06 de maio de 2023.

LI, X., LI, Y., LI, B., & LIU, S. (2019). Energy consumption and optimization of escalators in subway stations: A case study in Shenzhen, China. *Energy*, 170, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.037>

LIMA, L. F. et al. Análise de Viabilidade Econômica de um Projeto de Produção de Hortaliças. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 13, n. 3, p. 1576-1587, 2019.

LÖFSTRAND, NIKLAS. *Elevators and Escalators: From the Basics to the Advanced*. New York: Springer, 2019.

ROSS, STEPHEN A.; WESTERFIELD, RANDOLPH W.; JAFFE, JEFFREY F. *Corporate finance*. 13th ed. New York: McGraw-Hill, 2022.

SILVA, A. M. A. et al. Desenvolvimento de sistemas: uma revisão sistemática da literatura. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 2019. Disponível em: <https://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/8375>. Acesso em: 06 maio 2023.

SWAN, CHRISTOPHER. *Escalators and Moving Walkways*. 2. ed. New York: Elsevier, 2018.

TULUCA, ADRIAN; OLTEANU, CONSTANTIN. Escalators and Moving Walks. Boca Raton: CRC Press, 2018.

TESTES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ESCADAS ROLANTES. São Paulo: CPTM, 2020.

ULLMAN, DAVID G. The Mechanical Design Process. 5th ed. Hoboken: Pearson, 2019.
Capítulo sobre projeto de escadas rolantes.

UNIÃO INTERNACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. Relatório sobre Eficiência Energética em Sistemas de Transporte Público. Bruxelas: UITP, 2019.

VIEIRA, R. S. et al. Análise de requisitos na implantação de sistemas: uma revisão sistemática da literatura. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, 2018. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbes/article/view/4965>. Acesso em: 06 maio 2023.

WAGNER, ANDREAS et al. Manual de Eficiência Energética. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

YU, W., ZHAO, R., CHEN, J., & YANG, J. (2018). Energy-saving research on elevator and escalator. Energy Procedia, 152, 1102-1107.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.253>.

ZHANG, C., LIU, P., WANG, F., & ZHOU, B. (2020). Energy consumption and efficiency analysis of escalators in high-traffic public buildings. Sustainability, 12(17), 7016.
<https://doi.org/10.3390/su12177016>