



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 2

ENERGIA QUE MOVE OS TRILHOS: COMO SUSTENTAR O CCO COM

ENERGIA RENOVÁVEL¹

SOBRE OS AUTORES

Maria Eduarda do Prado - Estudante de Engenharia de Controle e Automação no Instituto Federal de São Paulo (IFSP) e formada em Técnico em Administração pela ETEC Martin Luther King. Atualmente, atua como estagiária de Engenharia na CPTM, onde desenvolvo habilidades práticas em processos industriais, manutenção e automação. Possui mais de 25 cursos complementares nas áreas administrativa, tecnológica e de desenvolvimento pessoal, que reforçam minha capacidade analítica, organização e foco em resultados.

Wellington Pereira Guedes - Formado em engenharia elétrica (ênfase eletrônica), trabalha no Centro de Controle Operacional (CCO) da CPTM há 12 anos atuando na análise estratégica de circulação e em ocorrências operacionais de destaque, na implementação e na idealização de sistemas para uso interno com foco na inovação.

¹ Artigo finalista do 12º Prêmio Tecnologia & Desenvolvimento Metroferroviários



CATEGORIA 2

ENERGIA QUE MOVE OS TRILHOS: COMO SUSTENTAR O CCO COM

ENERGIA RENOVÁVEL



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Resumo:

O presente trabalho tem como objetivo demonstrar a viabilidade da implantação de um sistema fotovoltaico em um grande edifício comercial urbano, pertencente à Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). A metodologia adotada envolveu simulações computacionais baseadas em dados climáticos da região Sudeste do Brasil, além da consideração de uma ampla área de cobertura disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos. Os resultados indicam que a implantação do sistema poderá suprir até 80% da demanda energética da edificação, promovendo significativa economia e contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Energia solar; Simulação fotovoltaica; Telhado; Geração de energia; Sustentabilidade.

Introdução:

A transição para fontes de energia renováveis é um imperativo global para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), a redução significativa das emissões de gases de efeito estufa é essencial para limitar o aquecimento global e evitar impactos ambientais irreversíveis. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma das tecnologias mais



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

promissoras, devido à sua abundância, disponibilidade e baixo impacto ambiental (REN21, 2023).

No Brasil, apesar da predominância da geração hidrelétrica — responsável por aproximadamente 64% da matriz energética nacional (ANEEL, 2023) — a diversificação para fontes solares tem crescido rapidamente, impulsionada por avanços tecnológicos, incentivos regulatórios e redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos (IEA, 2023). A implantação de sistemas fotovoltaicos em infraestruturas públicas e privadas configura-se como uma estratégia eficaz para reduzir a dependência de fontes fósseis e ampliar a segurança energética (Lopes et al., 2021).

A CPTM, uma das principais operadoras de transporte público da Região Metropolitana de São Paulo, apresenta elevado consumo energético em sua Estação Brás, decorrente do funcionamento contínuo de sistemas de iluminação, climatização e operação de equipamentos eletrônicos (CPTM, 2024). A integração de um sistema fotovoltaico conectado à rede nesse local pode contribuir para a redução dos custos operacionais e alinha a companhia às metas ambientais da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7, que visa assegurar o acesso confiável, sustentável e moderno à energia para todos (ONU, 2015).

Considerando um sistema com operação contínua — 24 horas por dia, durante os 365 dias do ano — observa-se uma elevada demanda de energia elétrica, que resulta em custos financeiros significativos para seu suprimento. Diante disso, e tendo em vista a ampla área disponível para instalação, bem como a expressiva necessidade energética,



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

este estudo propõe uma análise técnica fundamentada em simulações visuais e cálculos de geração fotovoltaica. O objetivo é avaliar o desempenho dos módulos solares instalados no telhado do Centro de Controle Operacional (CCO) e da estação Brás da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), visando suprir até 80% da demanda energética do edifício.

Este estudo realiza o dimensionamento e a avaliação técnico-econômica para a implantação de um sistema fotovoltaico composto por módulos de 550W, levando em consideração a irradiação solar média local, o perfil de consumo energético da estação e as normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis. Além disso, analisa a viabilidade financeira do projeto com base em dados atualizados de consumo e custos, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e planejamento estratégico da CPTM.

METODOLOGIA:

O presente estudo foi desenvolvido com base na análise de dados históricos de consumo energético, com ênfase no ano de 2024, complementados pelos resultados obtidos por meio da medição direta da energia consumida utilizando um analisador de potência. A partir desses dados, foram simuladas diversas configurações de sistemas fotovoltaicos, utilizando módulos com potência nominal de 550 W.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para estimar o potencial de geração de energia, considerou-se uma irradiação solar média diária de 4,6 kWh/m², valor compatível com a faixa média observada no estado de São Paulo, que varia entre 4,5 e 5,5 kWh/m²/dia, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Adotou-se, ainda, um fator de desempenho global (*Performance Ratio* – PR) de 80%, parâmetro amplamente utilizado em estudos técnicos e projetos fotovoltaicos no Brasil. Esse índice contempla perdas térmicas, elétricas e operacionais típicas de sistemas instalados em regiões de clima tropical, conforme dados do INPE (2017) e do CRESESB (2020).

Considerando a cobertura da estação de trens do Brás com área de 7.881,65 m² (84.837,41 ft²) a disposição dos módulos foi definida a partir de imagens reais do telhado, nas quais foram inseridos arranjos hipotéticos respeitando os requisitos gerais para projetos e instalações estabelecidos pela ABNT NBR 16274:2014. As simulações e visualizações foram realizadas utilizando as ferramentas ChatGPT Pro e Canva Pro, que permitiram a modelagem conceitual e a análise preliminar do desempenho energético do sistema. O projeto seguiu ainda as diretrizes das normas ABNT NBR 16690:2019 e IEC 61724.

Dessa forma, com base nas ferramentas, simulações e normas adotadas, o estudo apresenta um embasamento técnico sólido, contribuindo para o dimensionamento preciso e a avaliação segura do sistema fotovoltaico.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1. Contextualização do cenário energético e ambiental no Brasil:

O Brasil enfrenta atualmente elevados níveis de emissão de gases poluentes na atmosfera, os quais têm ocasionado impactos negativos para todos os seres vivos. Em resposta a esse cenário, o país assumiu o compromisso de reduzir suas emissões de carbono entre 59% e 67% até o ano de 2035, conforme estabelecido na nova Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) divulgada pelo governo brasileiro e alinhada ao Acordo de Paris, um tratado internacional que visa a mitigação das mudanças climáticas. O compromisso brasileiro concentra-se no controle do desmatamento e na mitigação das emissões intensificadas, em grande parte, pelo consumo de energia elétrica.

A produção e o fornecimento dessa energia são, majoritariamente, provenientes de usinas hidrelétricas, que correspondem a aproximadamente 64% da eletricidade consumida no país, conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023). Essas usinas acarretam modificações significativas na paisagem, não apenas pela instalação das estruturas em si, mas também pelas linhas de transmissão associadas. Entre os principais impactos ambientais destacam-se o manejo inadequado de resíduos sólidos e líquidos, a poluição sonora, o desmatamento e o risco de deslizamentos de terra, conforme evidenciado no estudo “Usinas Hidrelétricas e seus Impactos Ambientais” de Douglas Custódia, publicado pelo Instituto Federal de Guarulhos (2022).



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Considerando tais impactos, torna-se cada vez mais necessário que as empresas adotem práticas sustentáveis, alinhadas às metas globais da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, que visa “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos”.

Com base nessa análise, o presente artigo propõe ações aderentes às diretrizes da Agenda 2030, promovendo sua atuação como agente de transformação ambiental e social, segundo a figura 1. Ademais, busca-se conscientizar os usuários para que compreendam sua contribuição — ainda que indireta — na construção de um futuro mais sustentável. Para tanto, é fundamental que, ao chegarem à estação, os usuários possam visualizar de forma clara que parte da energia elétrica consumida é gerada por meio da energia solar. Essa percepção direta reforça o papel ativo de cada indivíduo na promoção da sustentabilidade e na redução das emissões de gases poluentes. Essa perspectiva está alinhada aos princípios abordados na encíclica *Laudato Si'* (2015), do Papa Francisco, a qual destaca a responsabilidade comum pela “casa comum” e enfatiza a importância da participação ativa de todos na preservação do meio ambiente e no cuidado com as futuras gerações.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 1: CREA - RJ- OBJETIVOS ONU

2. Análise do Perfil de Demanda Energética da Estação Brás em 2024:

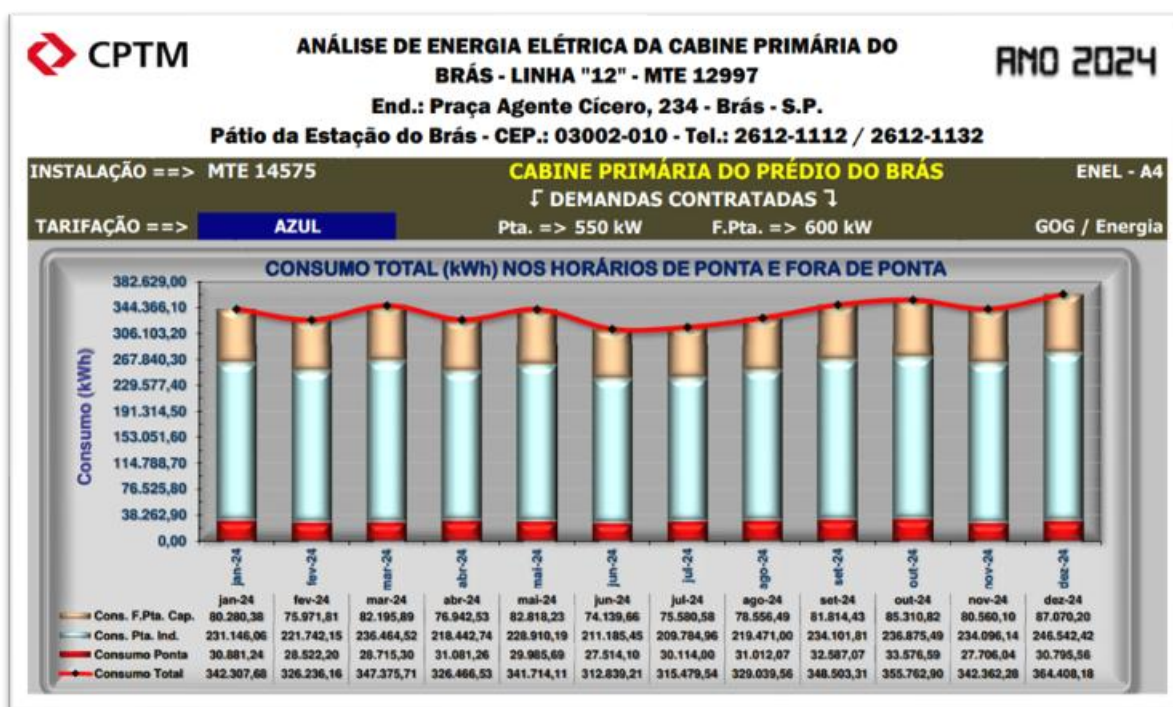


Figura 2: Fonte de dados internos – demanda de energia kWh – 2024 - CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Figura 2 apresenta o perfil de demanda de energia elétrica da Estação Brás ao longo do ano de 2024. Observa-se uma alta exigência energética contínua durante todos os meses, evidenciando o funcionamento ininterrupto e a complexidade da infraestrutura envolvida.

Essa demanda significativa está diretamente relacionada à integração entre os sistemas da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), do Metrô e da oficina vinculada à Estação Brás, que estão ligadas a mesma rede de energia e operacional na região. Além disso, destaca-se o consumo proveniente do Centro de Controle Operacional da CPTM.

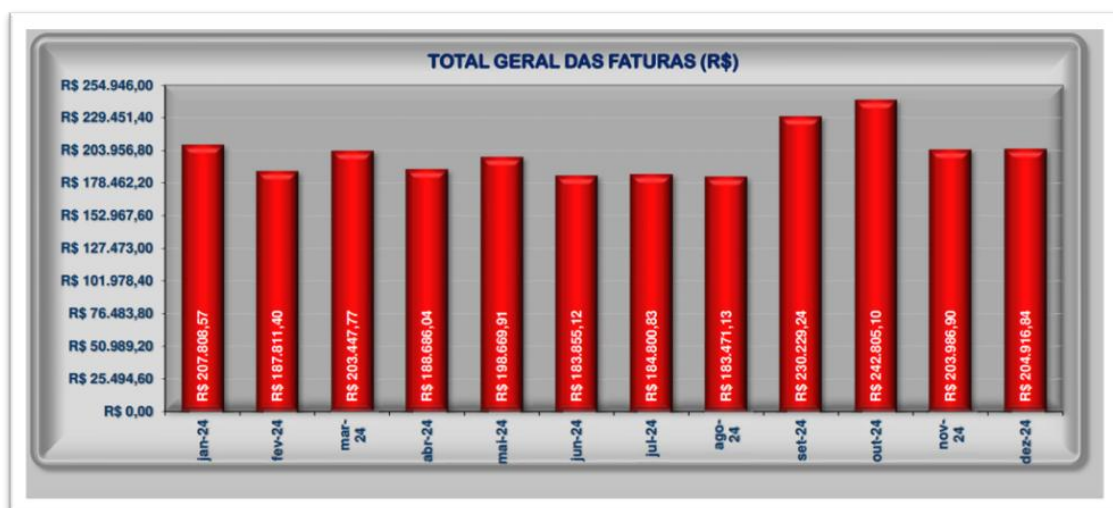


Figura 3: Fonte de dados internos – gastos mensais - CPTM - 2024

A análise do gráfico intitulado “Fonte de dados internos - gastos mensais - 2024 - CPTM” (figura 3), referente ao total das faturas mensais de energia elétrica da Estação Brás, ao longo do ano de 2024, evidencia variações significativas no consumo durante os doze meses analisados. Destacam-se os meses de setembro e outubro, que apresentaram os



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

maiores valores do período, totalizando R\$ 230.229,24 e R\$ 242.805,10, respectivamente.

Esses picos de consumo podem estar diretamente associados a fatores sazonais, como o aumento das temperaturas, que eleva a demanda por sistemas de ventilação e refrigeração. Adicionalmente, o possível crescimento no fluxo de passageiros contribui para o funcionamento contínuo de escadas rolantes, catracas, sistemas de iluminação e demais equipamentos eletrônicos presentes na estação, impactando diretamente o consumo energético.

Por outro lado, os meses de junho, julho e agosto apresentaram os menores valores de fatura, de acordo com a figura 3, variando entre R\$ 183 mil e R\$ 185 mil. Essa redução está alinhada com o período de inverno, quando as temperaturas são mais amenas e o uso de sistemas de climatização tende a ser menor. A queda no consumo durante esses meses sugere a existência de uma sazonalidade energética, o que pode ser útil para o planejamento de ações de redução de custos e eficiência no uso da energia elétrica.

Apesar dessas oscilações, observa-se que, ao longo do ano, os valores das faturas mantêm-se relativamente estáveis dentro de uma faixa entre R\$ 180 mil e R\$ 243 mil.

Essa estabilidade indica que o consumo energético da estação é, em grande parte, previsível, o que facilita a implementação de estratégias de otimização. Ainda assim, os valores elevados demonstram a importância de iniciativas voltadas à eficiência



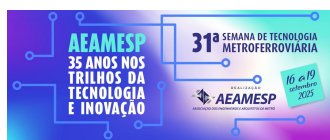
31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

energética e à diversificação da matriz elétrica, como, por exemplo, a adoção de sistemas fotovoltaicos.

Nesse contexto, o presente estudo busca não apenas analisar os dados de consumo, mas também propor uma alternativa sustentável que possa ser adotada pela CPTM para alinhar-se a uma operação mais ecológica, eficiente e consciente do ponto de vista ambiental e econômico.

3. Estabilidade no Perfil de Consumo Energético da Estação Brás:

A análise dos dados revela que as variações mensais de consumo são discretas ao longo dos anos, conforme ilustrado na Figura 4. Contudo, ao se observar o comportamento agregado, verifica-se que a média anual se mantém próxima aos valores esperados (exceto de 2019 para 2020), evidenciando um padrão de estabilidade e previsibilidade no consumo energético durante o período analisado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Consumo de Energia nas Estações da Linha 12 - Safira															
CONSUMO DE ENERGIA (kW.h) LINHA 12 - SAFIRA															
MÊS	ANO	BAS	MÊS	ANO	BAS	MÊS	ANO	BAS	MÊS	ANO	BAS	MÊS	ANO	BAS	TAT
JAN	2017	219.260	JAN	2018	248.089	JAN	2020	351.244	JAN	2021	277.139	JAN	2022	365.731	58.417
	2018	248.089		2019	271.373		2021	277.139		2022	365.731		2023		
FEV	2017	215.375	FEV	2018	264.342	FEV	2020	354.287	FEV	2021	340.703	FEV	2022	335.423	50.699
	2018	264.342		2019	300.394		2021	340.703		2022	335.423		2023		
MAR	2017	207.906	MAR	2018	243.010	MAR	2020	346.589	MAR	2021	315.114	MAR	2022	376.958	55.475
	2018	243.010		2019	271.463		2021	315.114		2022	376.958		2023		
ABR	2017	207.906	ABR	2018	268.609	ABR	2020	317.911	ABR	2021	372.322	ABR	2022	360.166	52.874
	2018	268.609		2019	271.420		2021	372.322		2022	360.166		2023		
MAI	2017	209.757	MAI	2018	253.175	MAI	2020	341.566	MAI	2021	336.406	MAI	2022	340.555	52.021
	2018	253.175		2019	289.801		2021	336.406		2022	340.555		2023		
JUN	2017	209.757	JUN	2018	207.107	JUN	2020	301.601	JUN	2021	347.915	JUN	2022	331.196	48.183
	2018	207.107		2019	262.549		2021	347.915		2022	331.196		2023		
JUL	2017	252.252	JUL	2018	248.918	JUL	2020	344.042	JUL	2021	328.525	JUL	2022	327.999	55.858
	2018	248.918		2019	250.002		2021	328.525		2022	327.999		2023		
AGO	2017	292.400	AGO	2018	267.947	AGO	2020	326.380	AGO	2021	332.937	AGO	2022		
	2018	267.947		2019	292.407		2021	332.937		2022			2023		
SET	2017	268.885	SET	2018	257.950	SET	2020	341.679	SET	2021	358.927	SET	2022		
	2018	257.950		2019	279.394		2021	358.927		2022			2023		
OUT	2017	241.203	OUT	2018	255.137	OUT	2020	367.015	OUT	2021	349.108	OUT	2022		
	2018	255.137		2019	292.822		2021	349.108		2022			2023		
NOV	2017	241.203	NOV	2018	279.691	NOV	2020	331.509	NOV	2021	341.712	NOV	2022		
	2018	279.691		2019	341.630		2021	341.712		2022			2023		
DEZ	2017	245.451	DEZ	2018	247.580	DEZ	2020	349.140	DEZ	2021	330.953	DEZ	2022		
	2018	247.580		2019	297.572		2021	330.953		2022			2023		
MÉDIA	2017	234.113	MÉDIA	2018	253.463	MÉDIA	2020	339.414	MÉDIA	2021	335.980	MÉDIA	2022	348.290	53.361
POR ESTAÇÃO	2018	253.463	POR ESTAÇÃO	2019	285.069	POR ESTAÇÃO	2021	335.980	POR ESTAÇÃO	2022	348.290	POR ESTAÇÃO	2023		
ACUMULADO	2017	2.809.355	ACUMULADO	2018	3.041.555	ACUMULADO	2020	4.072.963	ACUMULADO	2021	4.031.762	ACUMULADO	2022		
POR ESTAÇÃO	2018	3.041.555	POR ESTAÇÃO	2019	3.420.827	POR ESTAÇÃO	2021	4.031.762	POR ESTAÇÃO	2022	2.438.028	POR ESTAÇÃO	2023		
VARIACÃO DA	2017-2018	8,27%	VARIACÃO DA	2018-2019	12,47%	VARIACÃO DA	2020-2021	-1,01%	VARIACÃO DA	2021-2022	3,66%	VARIACÃO DA	2022-2023		
MÉDIA			MÉDIA			MÉDIA			MÉDIA			MÉDIA			
POR ESTAÇÃO			POR ESTAÇÃO			POR ESTAÇÃO			POR ESTAÇÃO			POR ESTAÇÃO			

Figura 4: Desenvolvida pelo autor – 2025

4. Medição Direcionada da Demanda Energética do CCO da Estação

Brás:

Considerando a elevada demanda energética necessária para suprir a Estação Brás, os altos custos envolvidos e a crescente necessidade de adoção de um modelo energético mais sustentável, tornou-se necessária a implantação de uma aferição exclusiva para o Centro de Controle Operacional (CCO) da estação. Essa medição visa dimensionar com maior precisão a real demanda energética do CCO, além de viabilizar o desenvolvimento de alternativas para o suprimento da estação por meio de fontes de energia limpa.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Foi instalado um analisador de potência *PowerPad III* (modelo AEMC 8336). As medições foram realizadas durante dois dias, período suficiente para captar o comportamento do consumo elétrico da instalação. A escolha dessa janela temporal baseou-se em análises de implementações anteriores, bem como na observação da linearidade do comportamento conforme apresentado nas figuras 2 e 4, fato confirmado nas medições atuais.

A principal finalidade dessa implantação foi a obtenção de dados atualizados e específicos da carga, possibilitando um dimensionamento mais preciso, bem como subsidiando a implementação da instalação dos módulos fotovoltaicos.



Figura 5: Registrada pelo autor-2025

A implementação da medição ocorreu entre os dias 15 e 18 de julho de 2025 (figura 5), período no qual as temperaturas variaram entre máximas de 22 °C e mínimas de 11 °C. Durante esse intervalo, os dados foram registrados e analisados, permitindo a



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

observação das curvas senoidais geradas pelo equipamento, as quais apresentaram pouca variação ao longo dos dois dias de medição.



Figura 6: Registrada pelo autor-2025

Com base nas medições realizadas por meio do analisador de energia, constatou-se um perfil de consumo trifásico equilibrado, conforme ilustrado na figura 6, caracterizado por correntes superiores a 300 A por fase e tensões médias em torno de 225 V. Essas condições evidenciam uma infraestrutura elétrica estável, favorável à integração de um sistema de geração fotovoltaica.

Considerando a elevada demanda energética da instalação, o dimensionamento do sistema fotovoltaico deve ser conduzido de forma criteriosa, visando atender a uma parcela representativa do consumo e garantir a viabilidade técnico-econômica do investimento. A disponibilização dos dados obtidos a partir das medições possibilitou a obtenção de informações precisas, essenciais para a elaboração dos cálculos e análises técnicas subsequentes.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

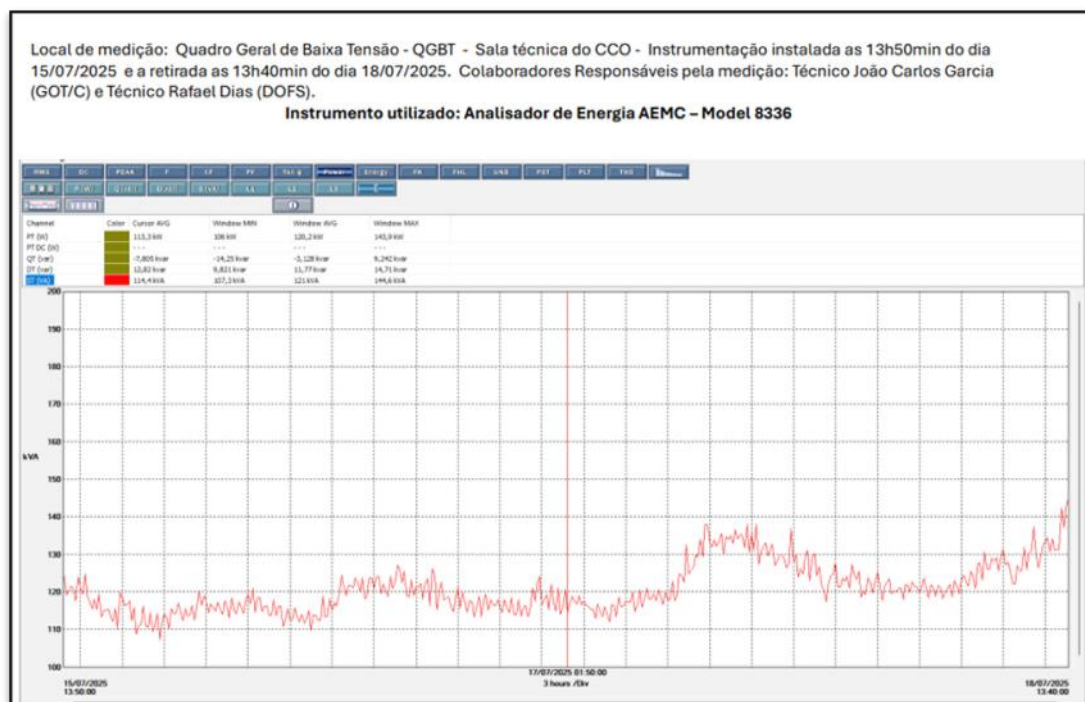


Figura 7: Resultado da medição com o analisador de potência - 2025

5. Análise dos Resultados Pós-Implementação:

Esses valores indicam um perfil de carga relativamente constante, com baixa variabilidade ao longo do tempo (figura 7), característica ideal para a integração de um sistema fotovoltaico. A estabilidade do consumo facilita o dimensionamento e favorece o aproveitamento da energia gerada, especialmente quando associada a estratégias como a injeção na rede ou créditos de energia.

A figura “Resultado da medição com o analisador de potência - 2025” (figura 7) reforça que a instalação apresenta um perfil de carga adequado para a adoção de um sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*), pois evidencia um consumo contínuo e



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

relativamente estável ao longo do período analisado, sem grandes variações de pico ou ociosidade. Esse comportamento é ideal para sistemas *on-grid*, uma vez que permite o aproveitamento máximo da energia gerada durante o dia.

Coordenada Geográfica

Latitude

23.5463768

Sul

Longitude

46.6163206

Oeste

Norte:

☒ graus decimais (00.00°)
 ☐ graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar

Limpar

! Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

Localidades próximas

Latitude: 23,546377° S

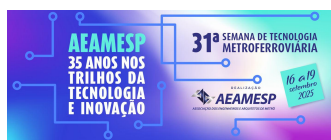
Longitude: 46,616321° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]													Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez	
☒	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,5° S	46,649° O		6,1	5,22	5,48	4,70	4,14	3,42	3,17	3,24	4,20	4,24	4,76	5,13	5,69	4,45	2,52
☒	Sao Paulo	Sao Paulo	SP	BRASIL	23,601° S	46,649° O		6,9	5,22	5,45	4,68	4,13	3,42	3,15	3,25	4,18	4,20	4,70	5,16	5,67	4,43	2,52
☒	Guarulhos	Guarulhos	SP	BRASIL	23,5° S	46,549° O		8,6	5,20	5,51	4,69	4,14	3,40	3,17	3,26	4,20	4,20	4,72	5,08	5,65	4,44	2,47

Figura 8: Dados da taxa de sol - 2025

6. Análise da Irradiação Solar em São Paulo com variação de Inclinação de Painéis fotovoltaicos:

Após a avaliação da demanda energética e dos dados previamente obtidos, verificou-se a viabilidade de projetar a instalação do sistema fotovoltaico. Com esse objetivo, foi realizado o cálculo da irradiação solar por meio da plataforma do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), utilizando-se as coordenadas geográficas do Centro de Controle Operacional (CCO) – Brás (latitude: - 23.544693515922464, longitude: - 46.61666313016852).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

CPTM

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A analisando os dados da figura 6, observa-se a variação na inclinação dos módulos fotovoltaicos, visando identificar o ângulo que proporcionasse o melhor aproveitamento da incidência luminosa na região, otimizando, assim, a geração de energia ao longo do ano.

Cálculo no Plano Inclinado																
Estação: Sao Paulo																
Município: Sao Paulo , SP - BRASIL																
Latitude: 23,5° S																
Longitude: 46,649° O																
Distância do ponto de ref.: (23,546377° S; 46,616321° O): 6,1 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Plano Horizontal	0° N	5,22	5,48	4,70	4,14	3,42	3,17	3,24	4,20	4,24	4,76	5,13	5,69	4,45	2,52
✓	Ângulo igual a latitude	24° N	4,72	5,22	4,83	4,70	4,24	4,13	4,12	4,99	4,50	4,64	4,70	5,05	4,65	1,09
✓	Maior média anual	21° N	4,81	5,28	4,85	4,66	4,16	4,04	4,04	4,93	4,50	4,69	4,79	5,16	4,66	1,24
✓	Maior mínimo mensal	34° N	4,37	4,93	4,71	4,75	4,41	4,37	4,33	5,13	4,45	4,43	4,37	4,63	4,57	,80

Figura 9: Dados da taxa de sol - Brás - 2025

Com base nos dados de irradiância solar diária média mensal para a cidade de São Paulo (latitude 23,5°S), foi realizada uma análise comparativa entre diferentes ângulos de inclinação dos painéis fotovoltaicos, com o objetivo de identificar a configuração mais eficiente para otimizar a geração de energia ao longo do ano.

A inclinação de 21°, próxima à latitude local, apresentou a maior média anual de irradiação (4,66 kWh/m².dia), sendo, portanto, a mais indicada para maximizar a produção energética anual, conforme a figura 9. Por outro lado, a inclinação de 34° demonstrou melhor desempenho nos meses de menor insolação — especialmente em junho e julho — sendo ideal para sistemas que priorizam garantir uma geração mínima durante o inverno.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O plano horizontal (0°) apresentou desempenho inferior, tanto na média anual (4,45 kWh/m²·dia) quanto nos meses críticos, o que evidencia a importância de se adotar uma inclinação adequada de acordo com a localização geográfica da instalação.

Dessa forma, a escolha da inclinação adotada será baseada na máxima geração anual, definindo-se 21° como o ângulo a ser utilizado nos cálculos de dimensionamento do sistema.

7. Conversão de Potência Aparente (kVA) em Energia (kWh):

Para estimar a energia gerada ou consumida por um sistema fotovoltaico, é necessário converter a potência aparente (kVA) em energia (kWh). Essa conversão depende diretamente do fator de potência (FP) do sistema e do tempo de operação.

A conversão pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$(1) \text{ kWh} = \text{kVa} \times \text{FP} \times \text{Tempo}(h)$$

Considerando um sistema com potência de 121 kVA, figura 7, operando com fator de potência médio de 0,92 — valor adotado como estimativa técnica conservadora, levando em conta perdas reativas comuns em inversores, transformadores e respeitando a norma ABNT 5410 (funcionamento contínuo de 24 horas), obtém-se:

$$(2) \text{ kWh/mês} = \text{KVA} \times \text{FP} \times \text{HORAS} \times \text{DIAS}$$

$$(2.1) \text{ kWh/mês} = 121 \times 0,92 \times 24 \times 30 = 80.150,4 \text{ kWh/mês}$$

Esse valor representa o total de energia que o sistema pode gerar mensalmente, considerando operação ininterrupta e eficiência média.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Segundo Tiwari e Ghosal (2005), o fator de potência em sistemas de geração distribuída geralmente varia entre 0,90 e 0,98, a depender da qualidade da instalação e dos equipamentos utilizados. Dessa forma, a escolha de 0,92 proporciona maior segurança nos cálculos e aproxima os resultados da realidade operacional de sistemas fotovoltaicos instalados em ambientes urbanos.

8. Seleção do Módulo Fotovoltaico:

Para fins de dimensionamento, adotou-se um módulo fotovoltaico com potência nominal de 550 W (0,55 kWp), modelo *Jinko Solar 550W* (144 células). Considerando perdas associadas à temperatura, sombreamento, sujeira nos painéis, eficiência do inversor e demais fatores operacionais, assume-se um rendimento médio de 80%.

Dessa forma, utilizou-se em conjunto com os módulos os com inversores *Huawei SUN2000-60KTL-M0*, reconhecidos pela alta eficiência em aplicações comerciais de médio e grande porte.

A geração diária estimada por módulo é calculada com base na irradiação média anual de 4,66 kWh/m²·dia para as coordenadas do CCO - BRÁS:

$$(3) \text{ kWp} \times h \times fp$$

$$(3.1) 0,55 \text{ kWp} \times 4,66 \text{ h} \times 0,80 = 2,05 \text{ kWh/dia}$$



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

9. Cálculo da Quantidade de Módulos Necessária:

A partir da demanda mensal estimada para a instalação, de 80.150,4 kWh/mês, calcula-se a quantidade de módulos necessária para suprir essa demanda:

$$(4) \quad kWh/mês / kWh \times dias)$$

$$(4.1) \quad 80.150,4 / (2,05 kWh \times 30 dias) = 1.303 \text{ módulos (aproximadamente).}$$

Portanto, para atender a essa demanda mensal, seriam necessários cerca de 1.303 módulos fotovoltaicos com potência de 550 W. Tal quantidade justifica a priorização do Centro de Controle Operacional (CCO) – Brás, que representa uma parcela significativa do consumo total.

10. Viabilidade Técnica da Estrutura da Estação para Geração Solar:

Considerando a necessidade de um espaço amplo para a implantação de aproximadamente 1.303 módulos fotovoltaicos, tornou-se essencial aproveitar a topografia existente da estrutura da estação ferroviária do Brás (figura10). A cobertura da estação apresenta uma área extensa e tecnicamente viável para a instalação dos módulos, atendendo aos critérios de orientação, inclinação e espaçamento, como a ABNT NBR 16274:2014, os quais são adequados para maximizar a captação da irradiação solar e garantir a eficiência do sistema.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 10: topografia da estação do Brás – Julho - 2025

11. Estimativa de Área e Conformidade com Normas Técnicas:

Com base na topografia da estação e nas dimensões físicas típicas de cada módulo fotovoltaico — 2,278 m × 1,134 m × 0,03 m (informações obtidas a partir do catálogo técnico de módulos de 550W, considerando que esses modelos apresentam dimensões padronizadas), resultando em uma área aproximada de 2,584 m² —, calcula-se que a instalação dos 1.303 módulos demandará:

$$(5) \text{ Área total dos módulos} = m^2(\text{total}) \times \text{numero de módulos}$$

$$(5.1) \text{ Área total dos módulos} = 2,584 \text{ m}^2 \times 1.303 \approx 3.368 \text{ m}^2$$

Entretanto, essa área representa apenas a superfície ocupada pelos módulos, sem considerar os espaçamentos técnicos obrigatórios entre as fileiras, corredores de



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

manutenção, inclinação ideal e afastamentos de segurança. Esses fatores são indispensáveis para garantir tanto a eficiência energética quanto a segurança e a viabilidade operacional do sistema.

Considerando essas exigências (figura 11), estima-se que será necessário utilizar aproximadamente 67,48% da área total disponível na cobertura da estação Brás, como ilustrado na figura 12, o que já contempla os requisitos normativos nacionais e internacionais. Tais como: ABNT NBR 16690:2019; NR-10; NR-12 e IEC 62548.

Espaço dos Módulos	3.368,35 m ²
+ Espaçamento entre fileiras	1.010,51 m ²
+ Faixa de segurança	439,14 m ²
+ Corredores técnicos internos	480,94 m ²
Total Final Estimado	~5.300 m ²

Figura 11: dados escritos pelo autor

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 12: Topografia Brás - Julho - 2025

Portanto, os acréscimos de área destinados ao espaçamento entre fileiras, às faixas de segurança perimetral e aos corredores técnicos internos seguem as boas práticas de engenharia, estando plenamente em conformidade com as normas mencionadas anteriormente.

Com isso, a área estimada para a instalação dos módulos fotovoltaicos corresponde ao espaço necessário para suportar uma carga distribuída de aproximadamente 38 toneladas, considerando que cada módulo possui um peso médio de 29kg, conforme o catálogo de módulos *Jinko Solar*.

31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

12.Análise Financeira da Implementação dos Módulos Fotovoltaicos:

? Estimativa mais realista para órgão público (com margem + impostos):
1303 módulos × R\$ 1.000,00 = R\$ 1.303.000,00
10 inversores × R\$ 25.000,00 = R\$ 250.000,00
Suportes e estrutura = R\$ 180.000,00
Cabeamento e proteção = R\$ 150.000,00
Instalação e comissionamento = R\$ 200.000,00
Documentação e licenças = R\$ 25.000,00
Supervisão e sistemas de monitoramento = R\$ 30.000,00
Contingência (10%) = R\$ 213.800,00
Valor total estimado atualizado: ≈ R\$ 2.351.800,00

Figura 13: Cálculos feitos pelo autor - 2025

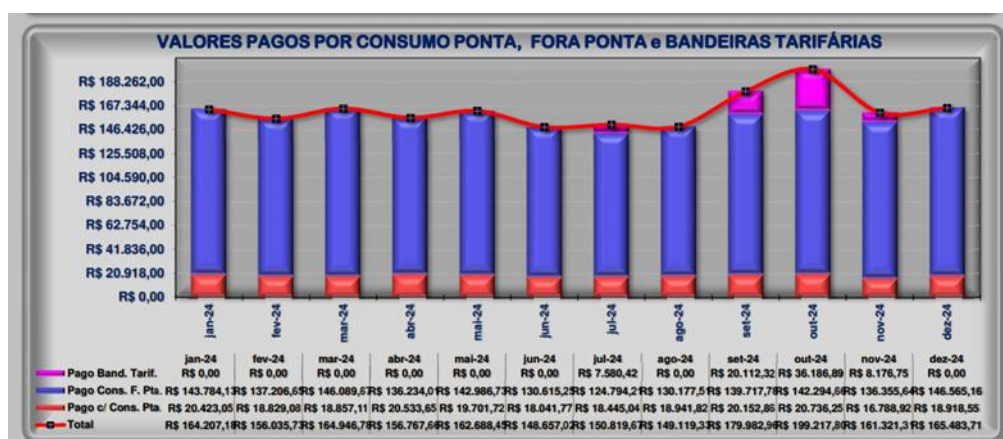


Figura 14: Valores pagos por consumo - 2024

Considerando o custo total estimado para a implantação do sistema fotovoltaico, conforme a figura 13, de aproximadamente R\$ 2.351.800,00, será realizada uma análise para determinar o tempo necessário para que o investimento seja amortizado.

Realizando a soma dos valores referentes ao ano de 2024(figura 14), obteve-se:

$$\text{Média dos meses} = 164.207,18 + 156.035,73 + \dots + 165.483,71 / 12 = \text{R\$ } 157.837,30$$

Assim, a média mensal dos valores financeiros para o ano de 2024 é de R\$ 157.837,30.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Considerando que se pretende abater aproximadamente 23,61% (valor aproximado da demanda de energia do prédio CCO-Brás de 2024 em relação a demanda total da estação) dos valores presentes no item 6 (80.150,4kWh/mês), tem-se:

(6) *Valor : porcentagem da demanda * valor médio*

$$(6.1) \quad 23,61\% \times 157.837,30 = R\$ 37.249,30$$

Considerando que, nos primeiros meses após a implementação, esse valor será remanejado para o pagamento do sistema como um todo, estima-se um prazo de aproximadamente 5 anos para quitação, com parcelas mensais de R\$ 37.249,30.

13. Cenários de Sustentabilidade e Redução de Custos a Longo Prazo:

Considerando que a durabilidade do sistema fotovoltaico, até a necessidade de manutenção relevante (exceto limpeza e a troca de fios desgastados pelo tempo), varia entre 10 e 15 anos após o período inicial de 5 anos de pagamento, a CPTM teria acumulado um montante equivalente ao valor investido.

Nos cinco anos subsequentes, esse capital poderia ser direcionado para outros investimentos estratégicos, como a implementação de portas automáticas no Centro de Controle Operacional (CCO), a aquisição de aparelhos de ar-condicionado mais modernos e eficientes, ou mesmo a destinação desses recursos para projetos sociais e doações a outras instituições.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse cenário evidencia o potencial de retorno e impacto positivo da adoção do sistema fotovoltaico, não apenas em termos de economia financeira, mas também como instrumento de modernização e responsabilidade social.

14. A visualização do Projeto

Para facilitar a visualização do arranjo dos módulos fotovoltaicos instalados, foram utilizados aplicativos profissionais pagos, tais como o ChatGPT Pro e o Dreamina Pro. Essas ferramentas permitiram a criação de modelos tridimensionais e simulações realistas da cobertura da estação com os painéis já implantados, proporcionando uma melhor compreensão espacial e técnica do projeto.



Figura 15: imagens geradas por IA - 2025



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

15. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou o dimensionamento e a viabilidade técnica para a implantação de um sistema fotovoltaico na Estação Brás, visando à redução do consumo de energia elétrica proveniente da rede pública e à promoção da sustentabilidade ambiental alinhada às metas nacionais e internacionais.

Com base na análise detalhada da demanda energética, perfil de consumo, e condições locais de irradiância solar, foi possível definir a utilização de módulos fotovoltaicos de 550 Wp, configurados com inclinação de 21°, que otimiza a geração anual de energia na cidade de São Paulo. A quantidade estimada de aproximadamente 1.303 módulos foi calculada para atender a uma demanda mensal média de 80.150,4 kWh, representando cerca de 23% da demanda total de toda a estação.

A consideração das dimensões físicas dos módulos, aliada às normas técnicas nacionais e internacionais — como a ABNT NBR 16690:2019, NR-10, NR-12, IEC 62548 e NEC 690 —, garantiu um projeto que respeita os critérios de segurança, manutenção e eficiência operacional. O espaço necessário para a instalação foi estimado em aproximadamente 5.300m², utilizando cerca de 67,48% da área total disponível, contemplando espaçamentos para circulação, manutenção e segurança.

Do ponto de vista econômico, a análise indicou que o investimento poderá ser amortizado em cerca de cinco anos, considerando o abatimento de aproximadamente 23,61% dos custos mensais com energia elétrica. Após esse período, a CPTM poderá



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

direcionar os recursos economizados para melhorias estruturais e tecnológicas no CCO, fortalecendo a modernização e a responsabilidade socioambiental da companhia.

Por fim, o uso de ferramentas avançadas para a modelagem e visualização do sistema, como os softwares ChatGPT Pro e Dreamina Pro, proporcionou maior precisão e confiabilidade no planejamento do projeto, facilitando a compreensão do impacto visual e técnico da instalação.

Assim, a implementação deste sistema fotovoltaico representa uma solução eficaz, sustentável e economicamente viável, alinhada aos objetivos da CPTM e às diretrizes da Agenda 2030, contribuindo para a redução das emissões de gases poluentes e para o desenvolvimento de uma matriz energética mais limpa e eficiente.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

16. Bibliografia:

ANEEL. Matriz elétrica brasileira: dados atualizados de geração. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023.

CPTM. Dados operacionais e consumo energético da Estação Brás. Companhia Paulista de Trens Metropolitanos, 2024.

IEA. Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028. International Energy Agency, 2023.

IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.

Lopes, A. C., Silva, R. M., & Ferreira, P. S. A expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: desafios e perspectivas. Revista Brasileira de Energia, v. 27, n. 2, 2021.

ONU. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas, 2015.

REN21. Renewables Global Status Report 2023. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2023.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. ISBN 978-85-17-00089-8

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Dados de irradiação solar média diária: fonte CRESESB, 2020

Brasil. Contribuição Nacionalmente Determinada à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (NDC). Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. The Paris Agreement. Paris, 2015.

CUSTÓDIO, Douglas; LORUSSO, Jhonnata; CAVALCANTE, Lorenzo Angelo Nogueira; LOPES, Robson Ferreira. Usinas hidrelétricas e seus impactos ambientais. Anais da Exposição Anual de Tecnologia, Educação, Cultura, Ciências e Arte do Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Guarulhos, v. 2, p. 1–6, 2022.



31ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
12º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

KINGSMILL INDUSTRIES. Ficha técnica do módulo fotovoltaico 550 Wp. Disponível em: <https://kingmillindustries.com/wp-content/uploads/2022/04/1.2-KINGSMILL-550W-Photovoltaic-Solar-Panel.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2025.

Norma técnica de instalação de energia solar: entenda mais. (s.d.). Portal Solar. Recuperado em 30 de julho de 2025

ENERGIASOLAR PHB. Módulo Jinko Solar JKM530M-72HL4-TV

Gráficos de demanda CPTM – 2024 – Não fornecidos a comunidade externa.