

Modelo metodológico para implementação de edifícios de energia quase zero em escolas públicas: estudo de caso em tipologia FNDE Tipo 2

Methodological model for near zero energy buildings in public schools: a case study of an FNDE Type 2 typology

Lucas Ferreira de Assis, Mestrando em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: lucas.assis@estudante.ufjf.br

Raysa Friaça Andrade de Mello Liquer, Mestranda em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: raysa.friaca@gmail.com

Vagner Vieira Reis, Servidor Adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: vagner.reis@ufjf.br

André Augusto Ferreira, Professor Adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: andre.ferreira@ufjf.br

Leonardo Rocha Olivi, Professor Adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

E-mail: leonardo.olivi@ufjf.br

Número da sessão temática da submissão – [04]

Resumo

Este estudo avalia a viabilidade técnica e econômica da implementação de Edifícios de Energia Quase Zero (NZE) em escolas públicas brasileiras por meio de um modelo metodológico estruturado. Adotou-se abordagem qualitativa e exploratória, com estudo de caso aplicado a uma tipologia escolar padronizada do FNDE (Tipo 2), em Matias Barbosa (MG). O modelo contempla diagnóstico energético, estratégias passivas e ativas e dimensionamento fotovoltaico. Os resultados indicam autossuficiência energética, mesmo após a inclusão da climatização, e viabilidade econômica, com investimento de R\$92.595,03 e payback simples de 3,2 anos. Conclui-se que o modelo proposto é um roteiro prático e replicável para apoiar a adoção de NZEBs no Brasil.

Palavras-chave: Edifícios de Energia Quase Zero; Energia Solar Fotovoltaica; Edificações Públicas

Abstract

This study evaluates the technical and economic feasibility of implementing Nearly Zero Energy Buildings (NZE) in Brazilian public schools through a structured methodological model. A qualitative and exploratory approach is adopted, with a case study applied to a standardized FNDE school typology (Type 2) in Matias Barbosa, Minas Gerais. The model includes energy diagnosis, passive and active strategies, and photovoltaic system sizing. The results indicate energy self-sufficiency, even after the inclusion of air-conditioning systems, as well as economic feasibility, with an investment of R\$92.595,03 and a simple payback period of 3.2 years. It is concluded that the proposed model provides a practical and replicable framework to support the adoption of NZEBs in Brazil.

Keywords: Near Zero Energy Buildings; Photovoltaic Solar Energy; Public Buildings

1. Introdução

O setor de edificações é um dos principais consumidores de recursos e geradores de impactos ambientais, respondendo por cerca de 34% da demanda global de energia e das emissões de CO₂ associadas (UNEP, 2025). Nesse cenário, ganham destaque os *Edifícios de Energia Quase Zero* (NZEB), que integram alta eficiência energética e geração renovável local, sendo estratégicos para o cumprimento do Acordo de Paris e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

No Brasil, a adoção desse modelo enfrenta entraves estruturais decorrentes do longo hiato regulatório da Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001), regulamentada apenas em 2019. Como resultado, grande parte das edificações públicas foi concebida sem critérios rigorosos de desempenho energético. Embora iniciativas como o Programa Brasileiro de Etiquetagem e o PBE Edifica tenham contribuído para a qualificação do setor, sua atuação predominantemente voluntária limitou a efetiva implementação dos NZEBs.

Esse cenário passou a se transformar com a Lei nº 13.280/2016, que assegurou recursos ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, possibilitando a evolução da política pública de eficiência para a autossuficiência energética. Nesse contexto, destaca-se a Chamada Pública Procel Energia Zero em Prédios Públicos, lançada em 2024, que destinou cem milhões de reais para o retrofit de edificações públicas, estabelecendo metas de autossuficiência entre 90% e 110% (PROCEL, 2024).

Diante desse contexto, este estudo analisa a viabilidade técnica e econômica da aplicação de um modelo metodológico NZEB em uma tipologia escolar pública padronizada (FNDE Tipo 2), por meio de estudo de caso da Creche Municipal Heley de Abreu Silva Batista, localizada em Matias Barbosa (MG), visando avaliar o dimensionamento necessário para sua conversão em um edifício de energia quase zero.

2. Referencial teórico

O conceito de *Nearly Zero Energy Buildings* (NZEB) emerge como resposta à redução das emissões, fundamentando-se no balanço energético anual entre consumo e geração, ainda que suas definições variem conforme os objetivos do projeto (Torcellini *et al.*, 2006). Para fins de padronização, o Departamento de Energia dos Estados Unidos define edifícios de energia zero como aqueles que produzem, em média anual, energia renovável suficiente para suprir sua própria demanda (UNITED STATES, 2015).

No Brasil, a aplicação do conceito é orientada pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que avalia envoltória, iluminação e condicionamento de ar, resultando na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. Para edificações públicas federais, a Instrução Normativa nº 02/2014 estabelece a obrigatoriedade da Classe A em novos projetos e retrofits (INMETRO, 2022).

Entretanto, a elevada classificação energética não garante, isoladamente, a autossuficiência. Carpino *et al.* (2024) destacam que a meta NZEB depende da integração entre estratégias passivas, ativas e o comportamento do usuário, princípio adotado pela

Chamada Pública Procel Energia Zero 2024, que prioriza a redução da demanda antes da compensação com geração renovável, estabelecendo balanço anual entre 90% e 110% do consumo (PROCEL, 2024).

A aplicação dos NZEBs é fortemente condicionada pelo clima. Enquanto experiências europeias e norte-americanas privilegiam a conservação de calor por meio de envoltórias altamente isoladas (Paoletti et al., 2017), esse modelo mostra-se inadequado ao contexto tropical brasileiro, onde a refrigeração representa parcela significativa do consumo energético (Empresa de Pesquisa Energética, 2021). Assim, a literatura nacional aponta a priorização de estratégias passivas de proteção solar e ventilação natural como base para a “tropicalização” do NZEB. Chan et al. (2022) reforçam que soluções como *cool roofs*, materiais refletivos e sombreamento são mais custo-efetivas em climas quentes.

Após a redução da carga térmica, o alcance da meta NZEB apoia-se na geração de energia renovável, especialmente por sistemas fotovoltaicos, favorecidos pela elevada irradiação solar no Brasil, associados à modernização da climatização com tecnologias de velocidade variável. Nesse sentido, a implementação de edifícios NZEB requer a organização integrada do processo projetual, do diagnóstico à operação, fundamento que sustenta o modelo metodológico proposto neste estudo, alinhado às exigências normativas e às diretrizes do Procel Energia Zero.

3. Procedimentos Metodológicos

Sob a ótica dos procedimentos técnicos, esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso (GIL, 2002), voltado à análise aprofundada de um objeto específico dentro de seu contexto real. Para operacionalizar a transformação da edificação em NZEB, o trabalho adota um Modelo Metodológico estruturado em três fases sequenciais e dez etapas, conforme ilustrado na Figura 1. Esse modelo teve seu desenvolvimento explicado no artigo “Da Barreira à Aplicação: Modelo Metodológico para Implementação de Edifícios NZEB no Brasil” (Liquer et al., 2026), que oferece embasamento teórico e metodológico para a definição das estratégias de eficiência energética e geração de energia renovável adotadas neste estudo, assegurando a coerência entre o referencial teórico e os procedimentos empíricos. A incorporação desse artigo permite validar o percurso metodológico proposto, ao mesmo tempo em que possibilita a adaptação de diretrizes consolidadas na literatura ao contexto específico do estudo de caso.

O modelo proposto organiza-se da seguinte forma: a Fase 1 (Planejamento) contempla a aplicação de 6 etapas: definição do escopo e equipe; levantamento de documentação e projetos as built da edificação; diagnóstico e linha de base energética; análise de estratégias passivas, análise de estratégias ativas; e dimensionamento de geração renovável local. A fase 2 (Avaliação e Implementação) é composta pelas fases de simulação energética, avaliação econômica, execução e comissionamento. A fase 3 (Operação e Validação Final) fecha o modelo com as fases de monitoramento e desempenho e entrega e operação assistida.



Figura 1: Modelo metodológico para implementação de edifícios NZEB no Brasil. Fonte: Os autores (2026).

Contudo, neste estudo aplica-se apenas as sete primeiras etapas, correspondentes à fase de planejamento, diagnóstico e avaliação técnica e econômica. A aplicação ocorre em uma tipologia escolar padronizada (FNDE Tipo 2), especificamente na Creche Municipal Heley de Abreu Silva Batista, localizada em Matias Barbosa/MG. O objetivo é estruturar a viabilidade técnica e econômica necessária para a submissão da proposta ao edital de fomento, constituindo a base projetual indispensável para a futura execução e operação da edificação.

4. Desenvolvimento, Discussões e Análises dos Resultados

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos pela aplicação das sete etapas do modelo metodológico na Creche Municipal Heley de Abreu Silva Batista, detalhando as estratégias para o alcance da meta NZEB.

4.1. Etapa 1: Definição do escopo e da equipe do projeto

Quanto ao escopo, o estudo de caso refere-se à Creche Municipal Heley de Abreu Silva Batista, localizada no município de Matias Barbosa (MG). Inaugurada em 2024, a edificação insere-se em região de clima tropical de altitude (Zona Bioclimática 3), com verões quentes e chuvosos e invernos amenos, condição que impõe desafios específicos ao desempenho térmico passivo e ativo.

A edificação adota o Projeto Padrão Tipo 2 do Programa Proinfância (FNDE), tipologia térrea organizada em três setores: Bloco A (administrativo e apoio), Bloco B (pedagógico, com salas de atividades e solários) e pátio coberto (integração e refeitório). A escolha desta tipologia justifica-se por seu elevado potencial de replicabilidade, uma vez que o projeto padrão é amplamente utilizado em municípios brasileiros, permitindo que as soluções propostas subsidiem políticas de retrofit em larga escala na rede pública.

No que se refere à equipe técnica municipal, constatou-se a inexistência de profissionais capacitados em etiquetagem energética (PBE Edifica) e na elaboração dos projetos exigidos

para chamadas públicas NZEB, devido à atuação concentrada em demandas operacionais do município. Assim, a submissão de propostas dessa natureza demanda a contratação de serviços técnicos especializados para complementar a equipe local.

4.2. Etapa 2: Levantamento de Documentação e Projetos *as built* da edificação

A submissão de proposta em editais públicos exige uma vasta documentação e possui certa burocracia. Assim, a disponibilidade de projetos *as built* permite dar celeridade ao processo de submissão do projeto. A inexistência dessa documentação em prédios públicos impõe a realização de levantamentos de campo e cálculos de engenharia onerosos, elevando custos e riscos que podem inviabilizar a submissão da proposta.

Para a edificação objeto do estudo, foram disponibilizados projetos de arquitetura e engenharia completos e atualizados. A edificação segue o Projeto Padrão Tipo 2 do Programa Proinfância, desenvolvido pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). Os projetos estão disponíveis e são constantemente atualizados no site do FNDE. Nessa etapa é essencial a apresentação do Auto de Vistoria de Bombeiro - AVCB e Habite-se, documento que atesta que a edificação foi construída conforme normas e legislação vigente. Para este estudo, não foi possível verificar se a edificação possui a documentação citada.

4.3. Etapa 3: Diagnóstico e linha de base

Para definir a Linha de Base Energética, analisou-se o histórico de consumo da edificação, confrontando o período de inauguração (2024) com a fase de operação plena (2025), conforme ilustrado na Figura 2.

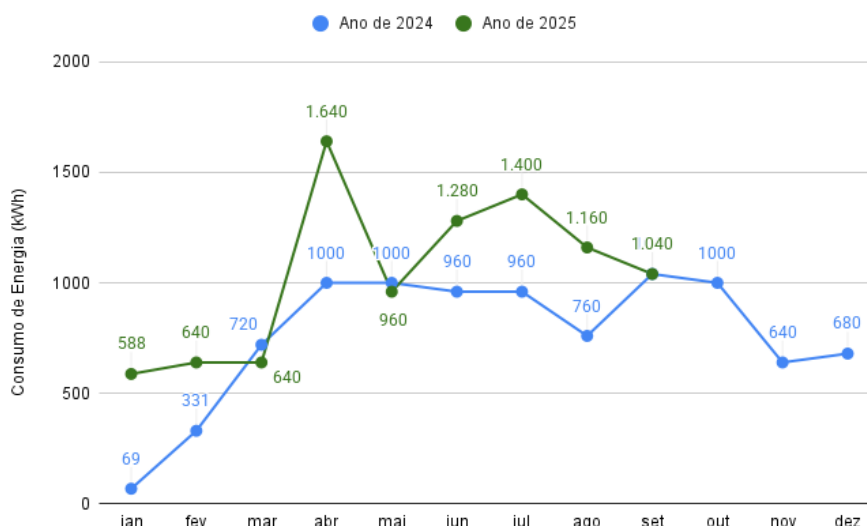


Figura 2: Consumo de Energia Creche Municipal Heley de Abreu Silva Batista Fonte: Autores (2026).

Conforme apresentado na Figura 2, o consumo de energia da creche em 2024 foi inferior ao registrado em 2025, comportamento justificado pelo fato de a ocupação plena da edificação ter se consolidado apenas no segundo ano. Realizou-se, portanto, uma projeção para os meses de novembro e dezembro de 2025, com base na média mensal dos dez primeiros meses do ano (1.026,8 kWh). O somatório anual, considerando a projeção para os meses finais, resulta em 12.321,6 kWh. Para fins de arredondamento e segurança de cálculo,

definiu-se a Linha de Base em 12.350 kWh/ano. Esse valor representa o consumo atual da edificação e será o ponto de partida para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

4.4. Etapa 4: Análise de Estratégias Passivas (Arquitetura e Envoltória)

A literatura sobre NZEB estabelece que a prioridade do projeto deve ser a redução da demanda energética antes da inserção de sistemas de geração renovável. Nessa perspectiva, a análise das estratégias passivas evidencia que a creche estudada já incorpora soluções arquitetônicas voltadas ao conforto térmico, lumínico e ambiental, reduzindo a dependência de sistemas ativos. A Figura 3 é a imagem da creche, utilizada para o estudo de caso.



Figura 3: Modelo 3D da fachada da Creche Proinfância Gov. Federal (Modelo típico desse tipo de construção): Os autores (2026).

A setorização funcional e a organização espacial favorecem a ventilação natural cruzada, enquanto os ambientes de permanência prolongada são posicionados em fachadas com maior potencial de estratégias passivas de ventilação e iluminação natural. A envoltória adota soluções que minimizam os ganhos térmicos, marquises e dispositivos de sombreamento, que reduzem a incidência solar direta sem comprometer a iluminação difusa. As aberturas e áreas de transição, como circulações abertas e pátios, reforçam a ventilação cruzada, o efeito chaminé e a melhoria do microclima interno.

As estratégias passivas do projeto padrão do FNDE evidenciam uma abordagem voltada à eficiência ambiental, baseada em soluções de baixo custo adequadas às edificações públicas educacionais e à sustentabilidade ao longo do ciclo de vida. A incorporação, desde a concepção, de ventilação natural, sombreamento e materiais com maior eficiência térmica reflete um avanço nas políticas públicas de infraestrutura escolar, ao reduzir a necessidade de retrofits onerosos na envoltória e reforçar a pertinência da escolha do estudo de caso.



Figura 4: Representação gráfica das intervenções propostas na Creche Municipal Heley de Abreu Silva Batista: vistas lateral superior e superior. Os autores (2026).

Na Figura 4 são apresentadas as intervenções ativa, com a implantação de um sistema fotovoltaico com 34 módulos e um inversor (não ilustrado), além de um sistema de

aquecimento solar de água composto por um *boiler* de 400 litros e dois coletores solares. Embora caracterizados como sistemas ativos de apoio, esses elementos atuam de forma integrada às soluções passivas, contribuindo para a redução do consumo energético e da dependência de fontes convencionais. O cálculo e o dimensionamento desses sistemas são apresentados na etapa metodológica seguinte.

4.5. Etapa 5: Análise de Estratégias Ativas (Eficiência de Sistemas)

As estratégias ativas concentram-se na otimização dos três principais sistemas consumidores de energia da edificação: iluminação, climatização e aquecimento de água.

a) Sistema de Iluminação:

Considerando o uso prévio de luminárias LED (tubulares T8 18 W), as intervenções priorizam a gestão operacional. Nas salas de aula, propõe-se a setorização dos circuitos, separando as fileiras próximas às janelas para permitir o desligamento manual em períodos de elevada iluminação natural. Em áreas de permanência transitória, como sanitários e circulações, recomenda-se a adoção de sensores de presença. Para a iluminação externa, sugere-se o uso de relés fotoelétricos com temporizador, restringindo o funcionamento ao horário de operação da creche.

b) Sistema de Climatização:

A análise do Memorial Descritivo do Padrão FNDE Tipo 2 (FNDE, 2017) indica a previsão de sistemas Split High Wall de 30.000 BTU/h nas salas de atividades e de 12.000 a 18.000 BTU/h no bloco administrativo. Neste estudo, especifica-se uma unidade de 18.000 BTU/h para a Secretaria/Direção, em função da maior carga térmica associada à ocupação adulta e ao uso de equipamentos, e uma unidade de 12.000 BTU/h para a Sala dos Professores. Mantêm-se as capacidades térmicas previstas no padrão, porém com adoção obrigatória de equipamentos com tecnologia Inverter e Selo Procel, resultando em um sistema composto por seis unidades de 30.000 BTU/h, uma de 18.000 BTU/h e uma de 12.000 BTU/h.

c) Sistema de Aquecimento de Água

O diagnóstico operacional indicou baixo uso dos chuveiros elétricos, concentrado nos berçários e em usos pontuais, o que fundamenta a proposta de implantação de um sistema de aquecimento solar com reservatório de 400 litros, capaz de atender à demanda com menor custo energético. Contudo, como a edificação não possui rede prévia de água quente, torna-se necessária a instalação de nova tubulação interligando coletores, boiler e pontos de consumo, utilizando materiais adequados como CPVC, PPR ou cobre, além de isolamento térmico para minimizar perdas. Essa intervenção exige atenção ao traçado da rede, interferências construtivas e adequação dos pontos existentes, sendo que os custos dessa infraestrutura foram incorporados à Tabela 4.

4.6. Etapa 6: Dimensionamento da Geração Renovável Local

Para dimensionar o gerador fotovoltaico, o primeiro passo é definir a Demanda Futura Projetada (E_{proj}). Este valor representa o balanço entre o acréscimo de carga decorrente das estratégias de conforto térmico (climatização) e as economias proporcionadas pelas medidas

de eficiência energética (iluminação e aquecimento solar). Com a demanda projetada definida, procede-se ao dimensionamento do sistema fotovoltaico.

- a) Metodologia de cálculo de cargas: Para padronizar a estimativa de impacto energético de todas as intervenções, utilizou-se a Equação 1, que relaciona a potência ativa ao perfil operacional da escola:

$$E_{ano} = P_{inst} \times N_{dias} \cdot T_{uso} \cdot F_{carga} \quad (1)$$

Sendo: E_{ano} : Energia consumida ou economizada anualmente (KWh);

P_{inst} : Potência instalada do sistema em questão (KW);

N_{dias} : Dias letivos (200 dias/ano);

T_{uso} : Tempo de operação diária estimado (h);

F_{carga} : Fator de uso ou simultaneidade (adimensional).

- b) Aplicação e Balanço Energético: Para a Climatização, a potência instalada foi definida através da análise comparativa de catálogos de fabricantes, adotando a média de equipamentos Inverter com selo Procel A (Tabela 2).

Tabela 2: Levantamento da potência instalada de climatização.

Capacidade (BTU/h)	Qnt	Potência Unitária (KW)	Potência Final
12.000	1	1,18	1,18
18.000	1	1,67	1,67
30.000	6	2,7	16,20
Total instalado	8	-	19,05

Nota: Valores médios de referência baseados em catálogos técnicos de fabricantes (Samsung, Carrier, Elgin, 2025). Fonte: Os autores (2026).

Considerou-se o regime operacional da creche de 200 dias letivos e 8 horas diárias. A economia do sistema de iluminação foi definida por setorização, com o acionamento individual da linha de luminárias paralelas às aberturas, reduzindo a potência em 0,64 kW por ambiente. Já para o

Para o aquecimento de água, a redução de demanda baseia-se na substituição dos chuveiros elétricos por sistema de aquecimento solar. Considerou-se potência média de 4,5 kW e tempo estimado de uso de 2,2 h/dia, resultando em economia direta sobre a Linha de Base. A Tabela 3 sintetiza o balanço energético obtido a partir da equação 1.

Tabela 3: Balanço energético.

Sistema/ intervenção	Tipo de impacto	Potência (KW)	Tempo (h)	Fator (F_{carga})	Potência Final (KWh)
Climatização	Adição (+)	19,05	8	0,55	+16.764
Aquecimento solar	Redução (-)	4,5	2,2	1	-1.980
Iluminação	Redução (-)	0,64	4	1	-512
Linha base	-	+12.350	-	-	+12.350
TOTAL (demanda projetada)	-			-	26.622

Nota: Elaborado pelos autores.

O balanço energético indica uma demanda teórica de 26.622 kWh/ano. Contudo, o dimensionamento do sistema fotovoltaico deve considerar a depreciação natural dos módulos, caracterizada por perda gradual de eficiência ao longo da vida útil. Para mitigar esse efeito e assegurar a manutenção do status NZEB, adotou-se o limite superior permitido pelo edital (110% da demanda). Assim, aplicou-se um fator de sobredimensionamento de 10%, definindo-se a Demanda Alvo (E_{alvo}) em aproximadamente 29.285 kWh/ano.

c) Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico:

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, estimou-se o Potencial de Energia Fotovoltaica (PVOUT) de 1.567,0 kWh/kWp para Matias Barbosa (MG), resultando em uma potência necessária de 18,68 kWp para atender à demanda anual projetada de 29.285 kWh. O sistema foi dimensionado com 34 módulos de 550 Wp (18,70 kWp), organizados em duas *strings* de 17 módulos conectadas e um inversor trifásico de 15 kW com dois MPPTs, garantindo tensão de operação adequada (≈ 850 V). A geração estimada no primeiro ano é de aproximadamente 29.300 kWh, equivalente a 110,06% da demanda, atendendo ao limite de autossuficiência da PROCEL.

O dimensionamento evidencia um paradoxo do edital CP Procel NZEB, ao penalizar edificações novas que, apesar de estratégias passivas, demandam incremento de carga para atender padrões atuais de conforto térmico. Assim, recomenda-se que futuros editais adotem métricas baseadas em desempenho absoluto e autossuficiência energética.

4.7. Etapa 7: Simulação Energética e Avaliação Econômica

A validação da proposta consiste no cruzamento entre a geração fotovoltaica estimada e a demanda energética projetada, seguido da análise de viabilidade econômica das intervenções. O dimensionamento indicou geração anual de 29.300 kWh, enquanto a demanda total da edificação, já considerando climatização e medidas de eficiência, foi estimada em 26.622 kWh, resultando em superávit energético de aproximadamente 2.678 kWh/ano. Esse balanço confirma o atendimento ao critério NZEB, com suprimento integral do consumo anual. Para a avaliação financeira, levantou-se o custo de materiais via mercado (jan/2026) e mão de obra via Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), acrescido de Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Detalhamento do orçamento (CAPEX) e itens propostos.

Categoria	Item	Valor Total
Sistema fotovoltaico	Placa Solar (34 mód. 550W) + Inversor 15kW + String Box	R\$ 34.120,00
	Mão de obra (considerando o BDI)	R\$ 2.793,33
Climatização	Conjunto Splits Inverter Selo A (6x 30k, 1x 18k, 1x 12k BTUs)	R\$ 37.200,00
	Infraestrutura elétrica e frigorígena	R\$ 4.600,00
	Mão de obra (considerando o BDI) - Mão de obra de Instalação (6x R\$562,50 + 1x R\$350,00 + 1x R\$219,78)	R\$ 3.944,78

Aquecimento Solar	Sistema de Aquecimento (Boiler 400L + 2 Coletores + Conexões)	R\$ 4.500,00
	Infraestrutura hidrossanitária	
	Mão de obra (considerando o BDI)	R\$968,46
Eficiência Energética	Sensores, relés e adequação/setorização do quadro elétrico	R\$ 3.500,00
	Mão de obra (considerando o BDI)	R\$ 968,46
Total do Investimento		R\$ 92.595,03

Nota: Elaborado pelos autores baseado nos preços praticados no mercado brasileiro (jan/2026), e mão de obra balizada pela referenciais do SINAPI com a respectiva taxa de BDI.

Conforme a Tabela 4, o investimento total necessário para a implementação é de R\$92.595,03. Para estimar o retorno financeiro, considerou-se o consumo anual evitado de 26.622 kWh. Adotando-se a tarifa média do subgrupo B da CEMIG, estimada em R\$1,05/kWh, obtém-se uma economia anual de R\$27.953,10. O tempo de retorno simples (Payback) resulta em aproximadamente 3,2 anos. Este indicador demonstra alta atratividade, visto que a vida útil do módulo fotovoltaico supera 25 anos, enquanto a do inversor fotovoltaico é de aproximadamente 15 anos.

5. Conclusão ou Considerações Finais

O estudo analisou a aplicação de um roteiro metodológico para o retrofit de uma escola pública municipal em NZEB, a partir de uma tipologia padrão do FNDE. Os resultados indicam que a integração entre eficiência energética e geração fotovoltaica supre integralmente a demanda anual da edificação, com excedente de cerca de 2.678 kWh, mesmo após a inclusão da climatização, além de apresentar viabilidade econômica, com investimento de R\$92.595,03 e *payback* simples de 3,2 anos.

No âmbito institucional, constatou-se que a equipe técnica municipal atua predominantemente em demandas operacionais, limitando análises energéticas aprofundadas; ainda assim, há interesse da administração pública na adoção de soluções NZEB quando apoiadas por metodologias estruturadas ou consultoria especializada, o que reforça o potencial de replicabilidade do modelo proposto. Por fim, o estudo evidencia uma limitação do Edital Procel Energia Zero ao restringir a participação de edificações públicas novas, cujo baixo consumo inicial é comprometido pela necessidade de incremento de carga para garantir conforto térmico. Assim, recomenda-se que futuras políticas priorizem métricas baseadas em desempenho energético absoluto e balanço energético, ampliando a aplicabilidade dos NZEBs no contexto municipal.

Referências

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: 12 jan.

2026.

CARPINO, C.; CHEN AUSTIN, M.; MORA, D.; ARCURI, N. Retrofit Measures for Achieving NZE Single-Family Houses in a Tropical Climate via Multi-Objective Optimization. *Buildings*, v. 14, n. 3, p. 566, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14030566>. Acesso em: 20 dez. 2025.

CHAN, Y. H. et al. Potential passive cooling methods based on radiation and convection in buildings: A review. *Energy Conversion and Management*, v. 272, p. 116342, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116342>. Acesso em: 22 out. 2026.

CARRIER. Catálogo Comercial: Linha Comercial Leve. Midea Carrier, 2024. Disponível em: <https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2024/08/CATALOGO-COMERCIAL-CAC.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2026.

ELGIN. Ar Condicionado Split High Wall Eco Inverter II. 2024. Disponível em: <https://www.elgin.com.br/Produtos/Climatizacao/ar-condicionado-split-high-wall/eco-inverter-2>. Acesso em: 14 dez. 2026.

FNDE. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Memorial Descritivo e Especificações Técnicas: Projeto Proinfância Tipo 2. Brasília: Ministério da Educação, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/fnde/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfancia/projetos-arquiteticos-para-construcao/projeto-proinfancia-tipo-2>. Acesso em: 06 dez. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Consumo de energia elétrica por equipamentos e usos finais no setor residencial brasileiro – Análise de resultados da PPH 2019. Nota Técnica EPE/DEE/SDR/2021/01. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/consumo-de-energia-el%C3%A9trica/painel-de-consumo-historico-de-energia-eletrica-desde-1970>. Acesso em: 16 out. 2025.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 7. ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022.

GLOBAL SOLAR ATLAS. Solar resource data: Photovoltaic Power Potential (PVOUT). World Bank Group, 2025. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map>. Acesso em: 18 dez. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Portaria nº 390, de 6 de setembro de 2022. Aprova a consolidação dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais. Rio de Janeiro: Inmetro, 2022. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao>. Acesso em: 12 jan. 2026.

PROCEL. Edital de Chamada Pública Procel Edifica – NZEB Brasil nº 01/2019. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2019. Disponível em: https://cnm.org.br/cms/images/stories/comunicacao_novo/links/13012020_Edital_Chama_mada_Publica_Procel_Edifica_-_NZEB_Brasil.pdf. Acesso em: 16 out. 2025.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). Chamada Pública Procel Energia Zero em Prédios Públicos. Brasília, DF: PROCEL, [2024?]. Disponível em: <https://cpenergiazero.procel.gov.br/>. Acesso em: 16 out. 2025.

AOLETTI, G. et al. Nearly Zero Energy Buildings: An Overview of the Main Construction Features across Europe. *Buildings*, v. 7, n. 2, p. 43, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings7020043>. Acesso em: 12 jan. 2026.

SAMSUNG. Catálogo de Ar Condicionado Residencial 2025: Linha WindFree. Samsung Eletrônica, 2025. Disponível em: <https://www.samsung.com/br/air-conditioners/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M.; CRAWLEY, D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Golden: National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2006. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>. Acesso em: 12 jan. 2026.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). 2025 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi: UNEP, 2025. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-2025>. Acesso em: 12 jan. 2026.

UNITED STATES. Department of Energy. A common definition for zero energy buildings. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Building Technologies Office, 2015. Disponível em: <https://www.ashrae.org/search?q=ZEB> . Acesso em: 13 out. 2025.