



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Danilo Grisolia Cavalcanti

**Belém - PA
Fevereiro/2026**

DANILO GRISOLIA CAVALCANTI

**ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO
DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade
de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da
Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil
Orientador: Felipe de Sá Moreira

**Belém
Fevereiro/2026**

DANILO GRISOLIA CAVALCANTI

**ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO
DE ÁGUA**

Belém, 26 de Fevereiro de 2026

Prof. Felipe Moreira de Sá
Dr. pela UFPA
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Profa. Luciana de N. P. Cordeiro (UFPA)
Dra. pela UFRGS

Prof. Luiz Maurício F. Maués (UFPA)
Dr. pela UFPA

CONCEITO FINAL: _____

ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS PREDIAIS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Danilo Grisolia Cavalcanti

Engenharia Civil UFPA

RESUMO

O aquecimento de água para banho representa parcela significativa do consumo energético residencial no Brasil, sendo o chuveiro elétrico responsável por aproximadamente 18,9% do consumo total de eletricidade do setor. O presente trabalho realiza uma análise econômica comparativa entre sistemas prediais de aquecimento de água a eletricidade e a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), aplicada a um edifício residencial multifamiliar de 52 unidades em Belém, Pará. A pesquisa adota abordagem quantitativa com foco no custo operacional (OPEX), excluindo despesas de implantação e manutenção. O consumo energético foi estimado por balanço térmico com premissas padronizadas de uso, adotando eficiência de 98% para o sistema elétrico e 86% para o GLP. Os custos foram calculados com base nos preços vigentes no Pará, com projeção acumulada em horizontes de 5, 10, 20 e 30 anos por taxas de reajuste históricas, além do *Levelized Cost Of Heat* (LCOH) e análise de sensibilidade para cidades com climas diferentes. No ano-base, o sistema elétrico apresentou custo anual de R\$ 2.606,11 por apartamento, enquanto o GLP a granel totalizou R\$ 1.418,22, economia de 45,6%. Na projeção de 30 anos, o GLP a granel amplia sua vantagem para 54,8%. A análise de sensibilidade demonstrou que a diferença percentual entre os sistemas e o LCOH permanecem constantes em qualquer clima. Conclui-se que o GLP a granel representa a alternativa mais vantajosa sob a perspectiva do custo operacional, recomendando-se para trabalhos futuros a incorporação do CAPEX e a análise de sistemas híbridos com energia solar térmica.

Palavras-chave: Aquecimento de água predial; GLP; Chuveiro elétrico; Eficiência energética; Custo operacional.

ABSTRACT

Domestic hot water represents a significant percentage of residential energy consumption in Brazil, with electric showers accounting for approximately 18.9% of the sector's total electricity use. This study conducts a comparative technical-economic analysis between electric and Liquefied Petroleum Gas (LPG) water heating systems, applied to a 52-unit multifamily residential building in Belém, Pará, Brazil. A quantitative approach was adopted, focusing on operational cost (OPEX) and excluding installation and maintenance expenses. Energy consumption was estimated through thermal balance calculations based on standardized usage parameters, adopting an efficiency of 98% for the electric system and 86% for LPG. Costs were calculated based on current energy prices in the state of Pará, with cumulative projections over 5, 10, 20, and 30-year horizons using historical price adjustment rates, along with the Levelized Cost of Heat (LCOH) and a climate sensitivity analysis. In the base year, the electric system yielded an annual cost of R\$ 2,606.11 per apartment, while bulk LPG totaled R\$ 1,418.22, representing a 45.6% saving. Over a 30-year projection, bulk LPG expands its advantage to 54.8%. The sensitivity analysis showed that the percentage difference between systems and the LCOH remain constant across all climate scenarios. It is concluded that bulk LPG represents the most advantageous alternative from an operational cost perspective, with future work recommended to incorporate CAPEX and evaluate hybrid systems integrating solar thermal energy.

Keywords: Domestic hot water; LPG; Electric shower; Energy efficiency; Operational cost.

1. INTRODUÇÃO

O setor de edificações ocupa posição central na agenda de baixo carbono, sendo responsável por parcela significativa do consumo global de energia e das emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, as energias renováveis emergem como protagonistas, ainda que sua plena realização dependa da superação de barreiras de mercado, da reformulação de políticas públicas e do alinhamento entre custos privados e sociais (Verbruggen *et al.*, 2010). O aquecimento de água doméstica figura entre os usos finais de maior relevância, correspondendo a 40%–50% do consumo energético em edifícios de baixo consumo, com perspectiva de crescimento contínuo diante da expansão das medidas de eficiência focadas em climatização (Salata *et al.*, 2017).

A eficiência energética em edificações representa um dos pilares centrais das estratégias globais de transição energética. Nos Estados Unidos, o setor residencial responde por 22% do consumo total de energia primária, com o aquecimento de água correspondendo a 18% desse total, ficando atrás apenas do condicionamento de ambientes (Hang; Qu; Zhao, 2012). Na China, o acelerado processo de urbanização tem intensificado a pressão sobre os sistemas de energia predial, impulsionando iniciativas como os Edifícios Verdes e as Eco-cidades de Baixo Carbono (He *et al.*, 2018). Contudo, desafios relevantes persistem, como a ausência de estruturas consolidadas de avaliação de sustentabilidade, a desarticulação entre oferta e demanda energética, os elevados custos do armazenamento térmico e a carência de ferramentas de otimização personalizadas (Sun *et al.*, 2026).

A pesquisa tem como objetivo principal comparar os sistemas de aquecimento de água predial à eletricidade e a Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) em um edifício residencial multifamiliar localizado em Belém, Pará, nas condições climáticas e tarifárias das fontes de energia vigentes na região. Especificamente, busca-se determinar qual sistema apresenta maior consumo energético e maior eficiência térmica, identificar qual alternativa impõe maior custo operacional ao consumidor final, tanto no cenário atual quanto em projeções de longo prazo, além de analisar como seria o comportamento do consumo energético em cidades com climas diferentes.

2. REFERENCIAIS TEÓRICOS

Os países em desenvolvimento ocupam posição crescente no cenário global de consumo de energia. Os países do BRICS, em conjunto, respondem por 31% do consumo mundial, sendo o Brasil o menor consumidor do bloco, com participação de 2% (Berardi, 2017). Ainda assim, o Brasil concentra 53,3% do consumo energético da América do Sul e registrou expressivo crescimento no período de 2000 a 2010, com taxa média anual de 3,3%, ritmo que arrefeceu para 0,5% ao ano entre 2011 e 2021 (U.S EIA, 2023). Diante desse contexto, políticas de eficiência energética vêm ganhando espaço tanto no debate internacional (Berardi, 2017; Santamouris, 2016), quanto no âmbito nacional, onde o Brasil, desde o início do século XXI, implementa iniciativas estruturadas por meio de órgãos como o PROCEL e a ANEEL (Geller *et al.*, 2004).

Ainda em um panorama internacional, destaca-se a relevância do setor de edificações no consumo energético global, que podem consumir cerca de um terço do consumo final de energia (González-Torres *et al.*, 2022). Esse fator ocorre devido ao aumento do adensamento populacional, como em Hong Kong, em que os edifícios representam 90% do total de energia consumida (Gan *et al.*, 2018), evidenciando a relevância desse setor na matriz energética global. O adensamento populacional e a verticalização são tendências mundiais nos grandes centros urbanos, com 55% da população mundial vivendo em cidades, com uma previsão de um aumento para 68% até 2050 (Deng *et al.*, 2023).

Segundo análise realizada por Levesque *et al.* (2018), observa-se uma tendência de crescimento global no consumo de energia em edifícios, nos mais diversos prospectos analisados. No Brasil, os edifícios são responsáveis por 50% do consumo de eletricidade e 1/6 do consumo de energia total (Albuquerque *et al.*, 2020). A classe residencial lidera o percentual de aumento no consumo de energia elétrica no Brasil, quando comparadas com as indústrias e a zona rural, com um acréscimo de 3,7% em março de 2025 em relação a março de 2024, além de ser a máxima histórica desde 2004 (EPE, 2025c). Nesse contexto, é importante analisar os serviços que mais demandam energia, como o aquecimento de água doméstica, que pode contribuir substancialmente no consumo de energia em edifícios, com valores que flutuam entre

7,5% a 40%, de acordo com características específicas (Rzeźnik; Rzeźnik; Hara, 2022).

O chuveiro elétrico figura entre os principais equipamentos consumidores de energia no setor residencial brasileiro, sendo responsável por aproximadamente 18,9% do consumo total de eletricidade no país (Teixeira *et al.*, 2022). Observa-se ainda que o número médio de chuveiros nas cinco regiões do Brasil supera 1,20 unidades por domicílio (PROCEL, 2023b), dos quais cerca de 0,7 correspondem a modelos elétricos destinados ao aquecimento de água (PROCEL, 2023a). No que se refere à matriz energética utilizada para aquecimento de água em residências, a eletricidade mantém ampla predominância, estando presente em 86% dos domicílios, embora esse percentual apresente redução desde 2005, quando atingia 95%. Ademais, é observada a expansão de alternativas como o aquecimento solar (3,3%) e o aquecimento a gás (9%), indicando uma gradual diversificação das fontes empregadas no setor (EPE, 2025a).

Entre 1960 e 1970, houve uma grande expansão na geração de energia hidrelétrica impulsionada pelo governo, gerando um excedente na produção de energia elétrica, fator crucial para a adoção de incentivos na aquisição de chuveiros elétricos, com o intuito de consumir o excedente (Martins; Abreu; Pereira, 2012). Contudo, a expressiva quantidade de unidades instaladas implica em impactos significativos sobre o sistema elétrico devido a simultaneidade de uso no período de maior consumo, entre 18h e 19h, faz com que aproximadamente 46% da demanda de potência nesse intervalo esteja associada ao funcionamento de chuveiros elétricos em residências, equipamentos que, individualmente, possuem elevada potência nominal, fator que ocasiona superdimensionamento nas redes de distribuição e intensifica perdas de energia (Tomé, 2014), além de colaborar com 18% da demanda energética total (Volpi *et al.*, 2006).

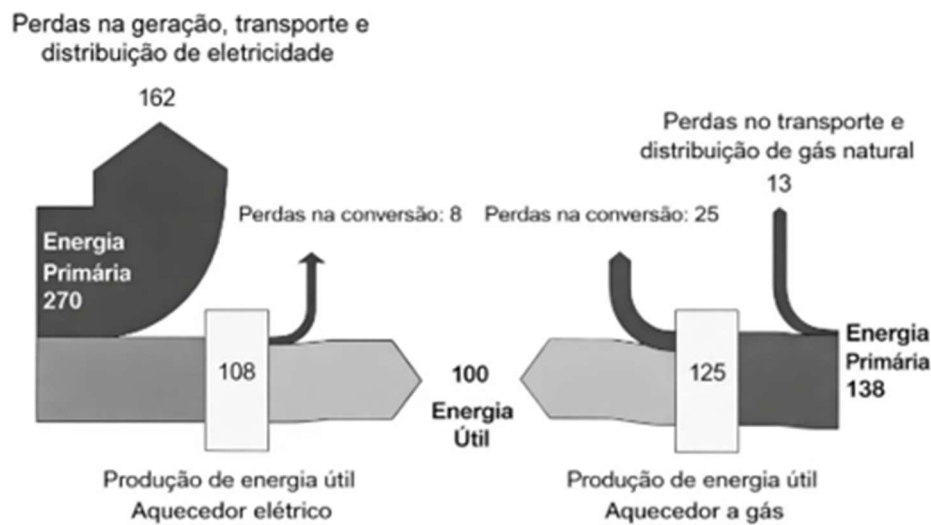
A tendência do consumo de energia pelas residências brasileiras é aumentar ainda mais, fator conduzido majoritariamente pelo aumento do número de domicílios urbanos e crescimento populacional (Abrahão; Souza, 2021). Para compensar esse aumento na demanda, a previsão da matriz elétrica brasileira indica um grande aumento na quantidade de emissão de carbono para geração de energia elétrica até 2050, com destaque para o petróleo, maior poluente, e o gás natural, combustível

fóssil menos poluente (Vaz; Scolari; Ghisi, 2025). Nesse sentido, o governo brasileiro, por meio do ministério de minas e energia, estuda, implementa e monitora diversas estratégias de melhorias na eficiência energética do país (Albuquerque *et al.*, 2020).

O número de pesquisas acadêmicas sobre consumo energético em edifícios que buscam alternativas e entender problemáticas por meio de metodologias avançadas tem aumentado nos últimos anos, assim como a definição de parâmetros para compreender e medir valores relacionados ao consumo (Clyde Zhengdao Li *et al.*, 2020). A energia total do ciclo de vida de um edifício pode ser constituída pela energia incorporada, classificada como a energia total consumida durante as fases de produção, e a energia operacional, para manter conforto e manutenção (Dixit *et al.*, 2012), e até energia de demolição, com os serviços de demolição, reformas e transportes de resíduos (Shrivastava; Chini, 2016). A maior parcela do consumo energético ao longo do ciclo de vida das edificações está associada à fase operacional, correspondente à energia utilizada no cotidiano pelos usuários, representando entre 80% e 90% do total, proporção que se justifica pela longa vida útil típica dos edifícios (Ramesh; Prakash; Shukla, 2010).

A matriz de energia elétrica no Brasil é uma das mais diversificadas do mundo, apresentando elevada participação de fontes renováveis. Ainda assim, a demanda por gás natural em 2025 registrou aumento, impulsionada principalmente pela expansão de 26,9% na geração de energia elétrica a partir desse combustível (EPE, 2025b). Nesse contexto, torna-se relevante considerar o conceito de “eficiência global”, que contempla as perdas associadas às etapas de extração, geração, armazenamento, transporte e distribuição de energia (Santos; Fagá; Santos, 2013). Sob essa perspectiva, a eficiência de um chuveiro elétrico alimentado por energia produzida em usinas localizadas a longas distâncias tende a ser inferior à de um sistema de aquecimento a gás individual, em razão das perdas acumuladas ao longo da cadeia energética (Johann, 2015).

Figura 1: Diagrama de Sankey exemplificando a “Eficiência Global”



Adaptado: (Santos; Fagá; Santos, 2013)

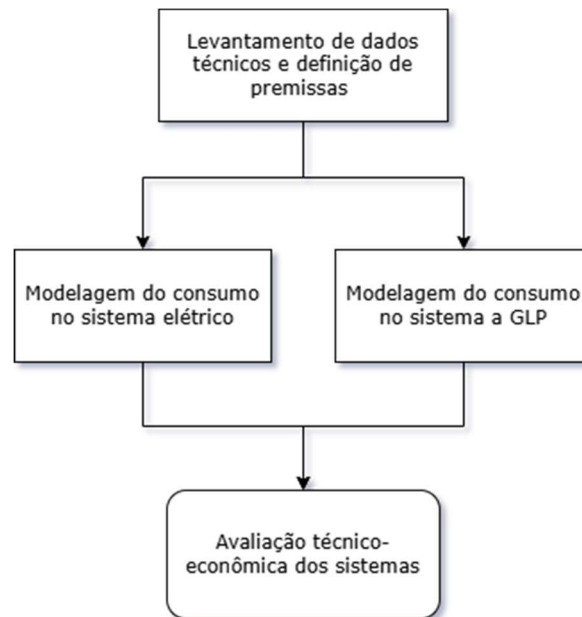
Uma das tecnologias que mais têm avançado na produção de energia é o sistema fotovoltaico. Países como Japão, Estados Unidos e Alemanha são pioneiros nesse setor; entretanto, a China, com o apoio de políticas nacionais, tem promovido uma rápida evolução dessa tecnologia (Liu *et al.*, 2019). Estudos internacionais contemplam variadas análises sobre fontes de produção energia em edifícios, indicando quais fatores implicam em reais ganhos em eficiência energética, como tipo de tecnologia, altura do edifício, localização geográfica e perfil de utilização, além de grande ênfase em eficiência energética (Fong; Lee, 2012; Sun *et al.*, 2026). No caso de edifícios altos, a relação entre demanda de água quente e perímetro da torre fica elevada, fator que pode tornar a área da laje técnica insuficiente para a produção de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos (Colmenar-Santos *et al.*, 2014).

3. METODOLOGIA

A pesquisa trata-se de um estudo de caso aplicado, com abordagem quantitativa, que compara o custo operacional (OPEX) entre sistemas de aquecimento de água elétrico e a gás GLP em um edifício residencial multifamiliar localizado em Belém, Pará (latitude 1°27'), região de clima quente e úmido com temperatura média anual de 27°C (SEMAS, 2024). O foco restringe-se ao custo de energia para banho, excluindo despesas de implantação, manutenção ou substituição de equipamentos.

O objeto de estudo é um edifício vertical multifamiliar de 13 pavimentos tipo, com quatro apartamentos por pavimento, totalizando 52 unidades. Cada apartamento possui cerca de 112 m², 3 dormitórios e três banheiros com pontos de consumo para banho. O empreendimento inclui projetos executivos com duas alternativas de aquecimento de água: chuveiros elétricos individuais com alimentação direta pela rede predial e aquecedores individuais a GLP com rede exclusiva de água quente e gás no apartamento. Ambos os sistemas foram dimensionados para as mesmas condições arquitetônicas, número de usuários e perfil de uso, permitindo comparação direta.

A pesquisa foi estruturada em quatro seções principais: (I) levantamento de dados técnicos e definição das premissas de uso; (II) modelagem do consumo energético no sistema elétrico; (III) modelagem do consumo energético no sistema a GLP; e (IV) avaliação técnico-econômica dos resultados, contemplando a análise comparativa entre os sistemas e a interpretação dos impactos financeiros associados a cada alternativa.

Figura 2: Fluxograma da pesquisa

Fonte: Autor (2026)

Na Seção 1, foram definidos os parâmetros para estimar o consumo energético dos sistemas de aquecimento de água para banho em um apartamento padrão ocupado por quatro moradores. Adotou-se como premissa dois banhos diários por morador, com duração média de 10 minutos cada. A temperatura de conforto foi fixada em 38 °C (GOV, 2017) e a temperatura média da água de entrada em 27 °C (SEMAS, 2024), resultando em diferença de temperatura constante de 11 °C. A vazão dos chuveiros foi estabelecida em 7 L/min, comum em diversos modelos disponíveis no mercado.

Na Seção 2, o consumo anual de energia elétrica foi estimado a partir da determinação da potência térmica requerida para o aquecimento instantâneo da água e do tempo total de utilização do chuveiro elétrico. A potência necessária foi calculada por meio da expressão $P = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$, em que $\dot{m}$ representa a vazão mássica da água, c o calor específico (4,18 kJ/kg·°C) e ΔT a elevação de temperatura entre a condição de entrada e a temperatura de conforto, sendo a vazão média de 7 L/min convertida em vazão mássica assumindo densidade da água de 1 kg/L. Em seguida, o consumo diário foi obtido pela relação entre potência e tempo total de funcionamento, considerando o número de moradores, a frequência e a duração dos banhos, sendo o consumo anual determinado pela extrapolação para 365 dias e convertido em custo por meio da aplicação da tarifa elétrica local vigente, medida no período do estudo em R\$ 0,97830 por kWh.

Na Seção 3, o consumo anual de combustível foi estimado a partir de balanço energético aplicado ao aquecimento da água para banho. Inicialmente, determinou-se o volume diário aquecido com base na vazão média adotada e no tempo total de utilização. A energia térmica útil requerida foi calculada pela expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, em que m representa a massa diária de água aquecida, c o calor específico da água (4,18 kJ/kg·°C) e ΔT a elevação de temperatura considerada. O valor obtido foi convertido para kWh e corrigido pela eficiência térmica do aquecedor instantâneo adotado, permitindo determinar a energia efetivamente requerida do combustível. O consumo de GLP foi estimado a partir do poder calorífico inferior de 12,8 kWh/kg valor disponibilizado pela EPE (2025b), e o custo anual calculado com base no preço unitário praticado pelo fornecedor responsável pelo abastecimento da central de GLP a granel do edifício.

O sistema a gás utiliza aquecedores instantâneos individuais por unidade habitacional, com vazão nominal de 27 L/min, potência térmica de 43,8 kW e eficiência aproximada de 86%, valores baseados em modelos disponíveis no mercado. Embora dimensionados para atendimento simultâneo em condição de pico, os cálculos consideraram a vazão efetiva de uso dos chuveiros (7 L/min). Para o sistema elétrico, adotou-se eficiência de 98%, representativa de chuveiros elétricos atuais, mantendo a mesma vazão média de 7 L/min para garantir comparabilidade entre os dois sistemas.

Na última seção, a avaliação econômico-financeira foi conduzida considerando horizontes temporais de 5, 10, 20 e 30 anos. Após a determinação do custo anual de cada alternativa no ano-base, a projeção temporal foi realizada mediante taxas de reajuste anuais específicas para cada fonte, obtidas a partir de séries históricas dos últimos dez anos: 6,78%/ano para o sistema elétrico, baseada na tarifa homologada pela ANEEL para a Equatorial PA e 5,78%/ano para o GLP a granel, adotando o IPCA médio do período ante a ausência de séries históricas públicas para essa modalidade. Foram calculados os custos acumulados em cada horizonte e as diferenças absolutas e percentuais entre os sistemas.

Complementarmente, foi determinado o Custo Nivelado de Energia Térmica (LCOH), definido como a razão entre o custo operacional anual e a energia térmica efetivamente entregue ao usuário, expresso em R\$/kWh útil. Foi realizada ainda

análise de sensibilidade com variação da temperatura de entrada da água, simulando três cenários climáticos, o clima equatorial úmido (Belém), clima intermediário e clima frio, com o objetivo de verificar a robustez dos resultados e a influência do contexto climático na comparação entre os sistemas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas premissas metodológicas adotadas, estimou-se o consumo energético anual dos sistemas de aquecimento de água elétrico e a GLP aplicados ao edifício objeto de estudo. Para o sistema elétrico, considerando potência média de 5,5 kW e tempo total diário de 80 minutos, obteve-se consumo anual de aproximadamente 2.664 kWh por apartamento, totalizando 138.550 kWh por ano para o edifício. No sistema a GLP, a partir do balanço energético aplicado ao aquecimento de 560 litros diários por unidade habitacional, estimou-se consumo anual de 237 kg por apartamento, correspondendo a 12.330 kg anuais para o edifício.

A partir desses valores, procedeu-se à estimativa do custo operacional anual de cada sistema, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparativo técnico-econômico dos sistemas por unidade habitacional

Parâmetro	Elétrico	GLP a granel
Eficiência do sistema	98%	86%
Consumo diário por apto	7,30 kWh	0,65 kg
Consumo anual por apto	2.664 kWh	237 kg
Valor unitário da energia	R\$ 0,9783/kWh	R\$ 5,98/kg
Custo anual por apto	R\$ 2.606,00	R\$ 1.418,21

Fonte: Autor (2026)

A Tabela 1 sintetiza os principais parâmetros técnicos e econômicos dos sistemas avaliados, consolidando os resultados obtidos a partir das premissas e metodologia descritas anteriormente. Embora o sistema elétrico apresente eficiência superior (98% contra 86% do GLP), o custo operacional anual por apartamento é de R\$ 2.606,11

para o sistema elétrico e de R\$ 1.418,21 para o sistema a GLP, representando uma diferença de R\$ 1.187,90, ou seja, o sistema a GLP é 45,6% mais econômico no ano-base da análise. Esse resultado corrobora com o estudo de Santos; Fagá; Santos, (2013), em que a eficiência energética do uso final não é o suficiente para presumir o menor consumo de energia total.

Na sequência, por meio da Tabela 2 foi realizado um comparativo dos custos diários, mensais e anuais dos sistemas.

Tabela 2: Comparativo de custos operacionais dos sistemas

Sistema	Custo diário (R\$)	Custo mensal médio (R\$)	Custo anual por apto (R\$)	Custo anual edifício (R\$)	Diferença percentual (%)
Elétrico	7,14	217,34	2.606,11	135.517,87	—
GLP (Granel)	3,89	118,27	1.418,22	73.747,27	45,6

Fonte: Autor (2026)

A Tabela 2 evidencia que o sistema a GLP a granel representa a alternativa mais econômica entre as três avaliadas, com custo anual por apartamento de R\$ 1.418,22, correspondendo a uma economia de 45,6% em relação ao sistema elétrico. Essa diferença entre as modalidades de fornecimento reforça a vantagem econômica que em condomínios e empreendimentos que possuem a possibilidade de instalar uma central de gás alimentada por GLP a granel possuem para aquecimento de água doméstica, reforçando a conclusão do estudo de Johann et al (Johann; Simoes; Santos, 2019), que indica aquecedores a gás como uma fonte de energia oportuna para aquecimento de água doméstica.

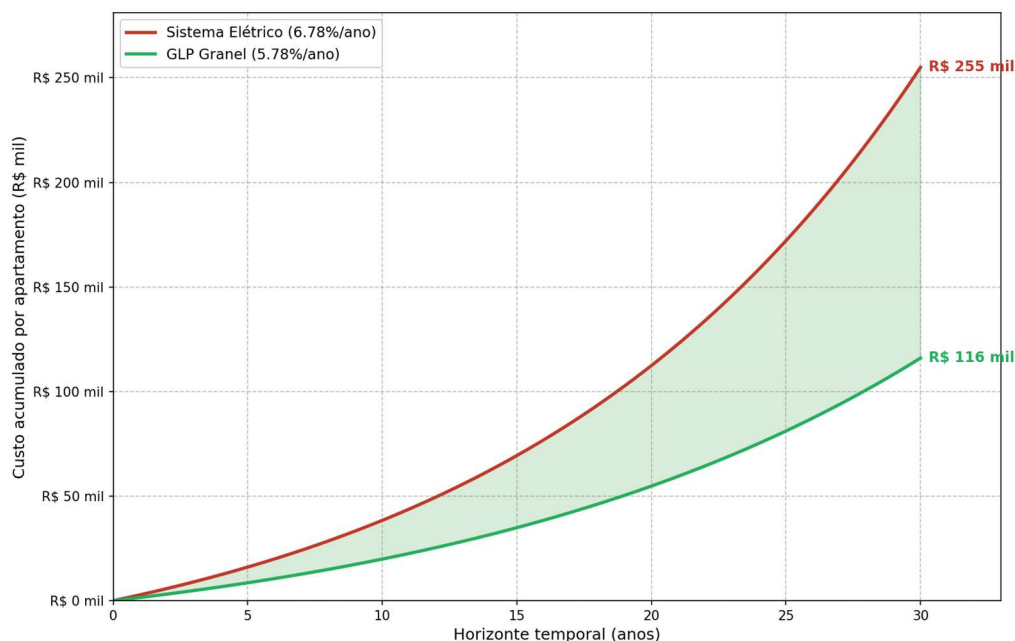
A Tabela 3 apresenta a projeção dos custos operacionais acumulados por unidade habitacional ao longo de horizontes temporais de 5, 10, 20 e 30 anos, adotando taxas de reajuste distintas para cada sistema, obtidas a partir de séries históricas de preços dos últimos dez anos (ANEEL, 2026; IBGE, 2026).

Tabela 3: Projeção de custos acumulados com taxas de reajuste históricas.

Horizonte	Elétrico (R\$)	GLP Grelal (R\$)	Diferença Percentual
Ano base	2.606,11	1.418,21	+45,58%
5 anos	18.539,19	9.837,81	+46,94%
10 anos	40.657,36	20.988,70	+48,38%
20 anos	113.985,08	55.315,81	+51,47%
30 anos	255.293,26	115.526,41	+54,75%

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da Equatorial PA (ANEEL) e IBGE (2015–2024).

A Figura 3 ilustra graficamente a evolução dos custos acumulados ao longo dos 30 anos analisados, permitindo visualizar o comportamento distinto de cada sistema.

Figura 3: Projeção de custos acumulados por apartamento com taxas de reajuste

Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da Equatorial PA (ANEEL), ANP/Pará e IBGE (2015–2024).

Os resultados revelam comportamentos distintos entre os sistemas ao longo do tempo. O GLP a granel mantém vantagem econômica crescente em todos os horizontes analisados, ampliando sua economia relativa de 46,94% em 5 anos para 54,75% em 30 anos, um reflexo direto da diferença entre as taxas de reajuste adotadas, 5,78%/ano para o GLP a granel, frente a 6,78%/ano para a tarifa elétrica.

Como ambos os custos crescem em progressão geométrica, à semelhança do regime de juros compostos, essa diferença se amplifica com o tempo, corroborando as equações matemáticas que fundamentam o modelo. Esse comportamento evidencia que a análise de longo prazo é indispensável na comparação entre sistemas energéticos, uma vez que horizontes curtos podem subestimar significativamente as diferenças acumuladas entre as alternativas.

A Tabela 4 apresenta a análise de sensibilidade dos sistemas elétrico e GLP a granel em relação à temperatura de entrada da água, simulando três cenários climáticos distintos e incorporando o Custo Nivelado de Energia Térmica (LCOH) como indicador de eficiência econômica por unidade de energia útil entregue ao usuário.

Tabela 4: Análise de sensibilidade dos custos e LCOH em função da temperatura de entrada da água

Cenário	ΔT	Custo anual elétrico (R\$)	Custo anual granel (R\$)	Diferença (%)	LCOH elétrico (R\$/kWh útil)	LCOH granel (R\$/kWh útil)
Belém - base (27°C entrada)	11°C	2.606,11	1.418,21	+45,6%	0,9983	0,5432
Cidade intermediária (21°C entrada)	17°C	4.027,63	2.191,78	+45,6%	0,9983	0,5432
Cidade fria (15°C entrada)	23°C	5.449,15	2.965,35	+45,6%	0,9983	0,5432

Fonte: Autor (2026)

A Tabela 4 demonstra que, embora os custos absolutos cresçam expressivamente com a redução da temperatura de entrada, o custo anual do sistema elétrico passa de R\$ 2.606,11 em Belém para R\$ 5.449,15 em clima frio e a diferença percentual entre os sistemas e o LCOH permanecem constantes nos três cenários. Isso ocorre porque ambos os sistemas escalam proporcionalmente com o ΔT , evidenciado pela

linearidade das equações utilizadas para o cálculo. Contudo, a diferença absoluta em reais aumenta consideravelmente: enquanto em Belém a economia anual com o GLP granel é de R\$ 1.187,90 por apartamento, em um clima com ΔT de 23°C essa economia sobe para R\$ 2.483,80, mais que o dobro. Esse resultado indica que, embora o GLP granel seja vantajoso em qualquer clima, o benefício econômico de sua adoção é proporcionalmente maior em regiões de clima frio.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou uma análise econômica comparativa entre sistemas de aquecimento de água predial a eletricidade e a GLP, aplicada a um edifício residencial multifamiliar de 52 unidades localizado em Belém, Pará. A análise contemplou o consumo energético, os custos operacionais no ano-base, a projeção acumulada com taxas de reajuste históricas e a sensibilidade dos resultados em função do clima.

No ano-base, o sistema elétrico apresentou custo operacional anual de R\$ 2.606,11 por apartamento, enquanto o GLP a granel totalizou R\$ 1.418,22, representando uma economia de 45,6% em favor do GLP. Esses resultados corroboram a premissa de que a eficiência do equipamento, isoladamente, não é determinante na composição do custo operacional, o sistema elétrico possui eficiência de 98% frente a 86% do GLP, mas ainda assim apresenta custo significativamente superior em razão do valor unitário da tarifa elétrica.

A projeção de custos acumulados com taxas de reajuste históricas revelou comportamentos distintos entre os sistemas ao longo do tempo. O GLP a granel consolidou vantagem crescente em todos os horizontes analisados, ampliando sua economia de 46,9% em 5 anos para 54,7% em 30 anos, evidenciando que análises temporais são de extrema importância para estudos que envolvem custos ao consumidor final, principalmente em edifícios, dada a longa vida útil dessas construções.

A análise de sensibilidade demonstrou que, em razão da linearidade das equações utilizadas, o LCOH e a diferença percentual entre os sistemas permanecem constantes independentemente do clima, R\$ 0,9983/kWh útil para o elétrico e R\$ 0,5432/kWh útil para o granel em qualquer cenário térmico. Contudo, a diferença absoluta em reais cresce proporcionalmente com o ΔT , a economia anual com o GLP granel, de R\$ 1.187,90 em Belém, mais que dobra em climas frios com ΔT de 23°C, atingindo R\$ 2.483,80 por unidade habitacional ao ano. Isso indica que a vantagem econômica do GLP é universal, mas seu impacto financeiro absoluto é substancialmente mais expressivo em regiões de menor temperatura.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o sistema de aquecimento a GLP a granel representa a alternativa mais vantajosa sob a perspectiva do custo operacional para o edifício estudado, nas condições climáticas de Belém e com os preços energéticos vigentes. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a incorporação dos custos de implantação (CAPEX), manutenção e reposição de equipamentos, bem como a análise de sistemas híbridos com energia solar térmica, a fim de ampliar o escopo da avaliação e subsidiar decisões de projeto com maior abrangência.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. V. G. de. What has driven the growth of Brazil's residential electricity consumption during the last 19 years? An index decomposition analysis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, p. 7–39, 2021. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000200513>.
- ALBUQUERQUE, B.; PEREIRA, M. F. D.; DOMINGUES, P. C. M.; COELHO, J. M. F. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Plano Nacional de Energia 2050 - PNE 2050**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>.
- ANEEL. 2026. **Portal Reports Abertos**. Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/basestarifas#!>. Acesso em: 28 fev. 2026.
- ANP. Preços de GLP ao consumidor consolidados. 2026. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-ao-consumidor-consolidados-glp>. Acesso em: 28 fev. 2026.
- BERARDI, U. A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. **Resources, Conservation and Recycling**, Toronto, Canada, v. 123, p. 230–241, 1 ago. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.014>.
- CLYDE ZHENGDAO LI A.; XULU LAI A.; BING XIAO B,*; VIVIAN W.Y. TAM C.; SHAN GUO D.; YIYU ZHAO A. A holistic review on life cycle energy of buildings: An analysis from 2009 to 2019. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 134, p. 110372, 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110372>.
- COLMENAR-SANTOS, A.; VALE-VALE, J.; BORGE-DIEZ, D.; REQUENA-PÉREZ, R. Solar thermal systems for high rise buildings with high consumption demand: Case study for a 5 star hotel in Sao Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 69, p. 481–489, 1 fev. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.036>.
- DENG, X.; CAO, Q.; WANG, L.; WANG, W.; WANG, S.; WANG, S.; WANG, L. Characterizing urban densification and quantifying its effects on urban thermal environments and human thermal comfort. **Landscape and Urban Planning**, [S. l.], v. 237, p. 104803, 1 set. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104803>.
- DIXIT, M. K.; FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L.; LAVY, S.; CULP, C. H. Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 16, n. 6, p. 3730–3743, 1 ago. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.021>.

EPE. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2025. Relatório de Indicadores**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), [S. d.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil>.

EPE. **Balanco Energético Nacional – Relatório Final – 2025**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, [S. d.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>.

EPE. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica: abril 2025**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), [S. d.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/resenha-e-boletim-do-mercado-de-energia-eletrica>.

FONG, K. F.; LEE, C. K. Towards net zero energy design for low-rise residential buildings in subtropical Hong Kong. **Applied Energy**, [S. l.], v. 93, p. 686–694, 1 maio 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.006>.

GAN, V. J. L.; DENG, M.; TSE, K. T.; CHAN, C. M.; LO, I. M. C.; CHENG, J. C. P. Holistic BIM framework for sustainable low carbon design of high-rise buildings. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 195, p. 1091–1104, 10 set. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.272>.

GELLER, H.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.; TOLMASQUIM, M. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**, [S. l.], v. 32, n. 12, p. 1437–1450, 1 ago. 2004. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00122-8](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00122-8).

GONZÁLEZ-TORRES, M.; PÉREZ-LOMBARD, L.; CORONEL, J. F.; MAESTRE, I. R.; YAN, D. A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. **Energy Reports**, [S. l.], v. 8, p. 626–637, 1 nov. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.280>.

GOV. Qual é a temperatura ideal para o banho? 2017. **Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares**. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-centro-oeste/hc-ufg/comunicacao/noticias/qual-e-a-temperatura-ideal-para-o-banho>. Acesso em: 5 mar. 2026.

HANG, Y.; QU, M.; ZHAO, F. Economic and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 45, p. 181–188, 1 fev. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.057>.

HE, B.-J.; ZHAO, D.-X.; ZHU, J.; DARKO, A.; GOU, Z.-H. Promoting and implementing urban sustainability in China: An integration of sustainable initiatives at different urban scales. **Habitat International**, [S. l.], v. 82, p. 83–93, 1 dez. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2018.10.001>.

IBGE. Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo | IBGE. 2026. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 28 fev. 2026.

JOHANN, D. **Discussão sobre a utilização de gases combustíveis para aquecimento de água no setor residencial no Brasil: uma análise SWOT**. 10 fev. 2015. dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 10 fev. 2015. DOI: 10.11606/D.106.2015.tde-16042015-181602. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-16042015-181602/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

JOHANN, D.; SIMOES, A. F.; SANTOS, E. M. dos. Barreiras tecnológicas para utilização de gases combustíveis para aquecimento de água no setor residencial no Brasil. **Revista Tecnologia e Sociedade**, [S. l.], v. 15, n. 38, 16 out. 2019. DOI: 10.3895/rts.v15n38.8636. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/8636>. Acesso em: 28 fev. 2026.

LEVESQUE, A.; PIETZCKER, R. C.; BAUMSTARK, L.; DE STERCKE, S.; GRÜBLER, A.; LUDERER, G. How much energy will buildings consume in 2100? A global perspective within a scenario framework. **Energy**, [S. l.], v. 148, p. 514–527, 1 abr. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.139>.

LIU, Z.; LIU, Y.; HE, B.-J.; XU, W.; JIN, G.; ZHANG, X. Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 101, p. 329–345, 1 mar. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.023>.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, [S. l.], v. 48, p. 640–649, 1 set. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.082>.

PROCEL. **Estudo analítico da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso 2019**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, [S. d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/pol_ind.

PROCEL. **Relatório com cenários tendenciais sobre posse de equipamentos elétricos e os impactos na demanda por energia elétrica**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, [S. d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/pol_ind.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, [S. l.], v. 42, n. 10, p. 1592–1600, 1 out. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>.

RZEŹNIK, W.; RZEŹNIK, I.; HARA, P. Comparison of Real and Forecasted Domestic Hot Water Consumption and Demand for Heat Power in Multifamily Buildings, in Poland. **Energies**, [S. l.], v. 15, n. 19, p. 6871, jan. 2022. <https://doi.org/10.3390/en15196871>.

SALATA, F.; GOLASI, I.; DOMESTICO, U.; BANDITELLI, M.; LO BASSO, G.; NASTASI, B.; DE LIETO VOLLARO, A. Heading towards the nZEB through CHP+HP systems. A comparison between retrofit solutions able to increase the energy performance for the heating and domestic hot water production in residential buildings. **Energy Conversion and Management**, [S. l.], v. 138, p. 61–76, 15 abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.062>.

SANTAMOURIS, M. Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change. **Solar Energy**, [S. l.], v. 128, p. 61–94, 1 abr. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.021>.

SANTOS, A. H. C. dos; FAGÁ, M. T. W.; SANTOS, E. M. dos. The risks of an energy efficiency policy for buildings based solely on the consumption evaluation of final energy. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, [S. l.], v. 44, n. 1, p. 70–77, 1 jan. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.07.017>.

SEMAS. **Anuário Climatológico do Estado do Pará – Ano 2024**. Belém: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará, [S. d.]. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/hidromet/pages/anuario_climatologico. Acesso em: 14 fev. 2026.

SHRIVASTAVA, S.; CHINI, A. Contractor Energy Information System: Energy-Savings Tool for Building Construction. **Journal of Management in Engineering**, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 04015048, 1 maio 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000412](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000412).

SUN, C.; FENG, L.; CHEN, Y.; JU, X.; ZHAO, T. Renewable energy for domestic hot water production: Advances, challenges, and future directions - A systematic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 226, p. 116282, 1 jan. 2026. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116282>.

TEIXEIRA, C. A.; MELO, A. P.; FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Bottom-up modelling of electricity end-use consumption of the residential sector in Brazil. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 22, p. 113–131, 2022. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000300611>.

TOMÉ, M. de C. **Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horossazonal**. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/931304?guid=49228a5ebdb0c55a25c1&returnUrl=%2fresultado%2fflistar%3fguid%3d49228a5ebdb0c55a25c1%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d931304%23931304&i=1>.

U.S EIA. Brazil – Country Analysis Brief. 2023. **EIA – U.S. Energy Information Administration**. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/analysis/country/BRA>. Acesso em: 15 fev. 2026.

VAZ, I. C. M.; SCOLARO, T. P.; GHISI, E. Understanding the environmental impact of residential electricity consumption in Brazil: integrating top-down and bottom-up approaches with Life Cycle Assessment. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 986, p. 179774, 15 jul. 2025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179774>.

VERBRUGGEN, A.; FISCHEDICK, M.; MOOMAW, W.; WEIR, T.; NADAĬ, A.; NILSSON, L. J.; NYBOER, J.; SATHAYE, J. Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. **Energy Policy**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 850–861, 1 fev. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.036>.

VOLPI, G.; JANNUZZI, G.; DOURADO, R.; GOMES, M. A sustainable electricity blueprint for Brazil. **Energy for Sustainable Development**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 14–24, 1 dez. 2006. [https://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60552-9](https://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60552-9).