

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Almir Henrique De Lima
Fellipe Malaquias Camilo
Léo Wagner Santos Cáceres
Marcio Henrique Lopes dos Santos
Marcio Koiti Cunita
Rafael do Couto Silva

MODERNIZAÇÃO DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO PREDIAL COM
FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO
APLICADO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Fernandópolis
2025

Almir Henrique De Lima
Fellipe Malaquias Camilo
Léo Wagner Santos Cáceres
Marcio Henrique Lopes dos Santos
Marcio Koiti Cunita
Rafael do Couto Silva

MODERNIZAÇÃO DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO PREDIAL COM
FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO
APLICADO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção da Habilitação Profissional
Técnica de Nível Médio de Técnico em
Eletrotécnica, no Eixo de Controle e
Processos Industriais, à Escola Técnica
Estadual Professor Armando José
Farinazzo, sob orientação do Professor
Marcos Antonio de Assis.

Examinadores:

Fernandópolis
2025

MODERNIZAÇÃO DE SISTEMA DE BOMBEAMENTO PREDIAL COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO APLICADO EM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL

Almir Henrique De Lima
Fellipe Malaquias Camilo
Léo Wagner Santos Cáceres
Marcio Henrique Lopes dos Santos
Marcio Koiti Cunita
Rafael do Couto Silva

RESUMO: Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um estudo de caso sobre a modernização de um sistema de bombeamento predial em um condomínio residencial, com foco na eficiência energética e no aumento da confiabilidade operacional. O sistema original utilizava uma bomba centrífuga de 10 CV instalada em casa de máquinas, dependente de linha de sucção e sujeita a dificuldades de escorva, falhas recorrentes e elevado consumo de energia elétrica. A modernização proposta consistiu na substituição da motobomba existente por uma bomba submersível multietapas de 5 CV, instalada diretamente no reservatório inferior, integrada a um painel de comando com lógica de automação e proteções elétricas adequadas. A metodologia adotada envolveu levantamento de dados do sistema atual, consulta a catálogos de fabricantes, estimativa e comparação do consumo de energia entre os dois cenários, análise qualitativa de manutenção e uma avaliação econômico-financeira utilizando o cálculo do payback. Os resultados demonstraram uma redução superior a 70% no consumo de energia elétrica quando considerada a eficiência global (elétrica e hidráulica), mantendo a capacidade de abastecimento com maior agilidade. A análise econômica indicou um prazo de retorno do investimento de aproximadamente seis meses, considerando a economia de energia somada à redução de custos de manutenção, o que torna a modernização uma alternativa extremamente viável e atrativa para a realidade condominial. Conclui-se que a substituição do conjunto motobomba, aliada a uma automação bem projetada, constitui uma estratégia eficaz para reduzir custos, aumentar a confiabilidade e promover o uso mais racional da energia em sistemas de bombeamento predial.

Palavras-chave: Automação. Economia de energia. Eficiência energética. Modernização. Sistema de bombeamento.

ABSTRACT: This Course Completion Paper presents a case study on the modernization of a building pumping system in a residential condominium, focusing on energy efficiency and increased operational reliability. The original system used a 10 HP centrifugal pump installed in a machine room, dependent on a suction line and subject to priming difficulties, recurrent failures, and high electrical energy consumption. The proposed modernization consisted of replacing the existing pump with a 5 HP multistage submersible pump, installed directly in the lower reservoir, integrated into a control panel with automation logic and adequate electrical

protections. The methodology adopted involved data collection of the current system, consultation of manufacturers' catalogs, estimation and comparison of energy consumption between the two scenarios, qualitative analysis of maintenance, and an economic-financial evaluation using the payback calculation. The results demonstrated a reduction of over 70% in electrical energy consumption when considering global efficiency (electrical and hydraulic), maintaining supply capacity with greater agility. The economic analysis indicated an investment payback period of approximately six months, considering energy savings combined with reduced maintenance costs, which makes the modernization an extremely viable and attractive alternative for the condominium context. It is concluded that replacing the pump set, combined with well-designed automation, constitutes an effective strategy to reduce costs, increase reliability, and promote more rational energy use in building pumping systems.

Keywords: Automation. Energy efficiency. Energy savings. Modernization. Pumping system.

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água em edifícios residenciais depende diretamente do desempenho dos sistemas de recalque. Em condomínios verticais, esses sistemas operam continuamente para transferir água do reservatório inferior ao reservatório superior, garantindo o fornecimento regular às unidades habitacionais. Entretanto, essa infraestrutura pode representar uma parcela significativa do consumo de energia da edificação e, quando mal dimensionada ou obsoleta, torna-se fonte de desperdício, falhas operacionais e custos elevados ao condomínio.

De acordo com estudos do PROCEL (Procel Sanear, 2005), uma parte relevante da energia elétrica consumida nos sistemas de abastecimento e saneamento está associada ao funcionamento de conjuntos motobomba, cuja eficiência depende diretamente de fatores como condições de operação, dimensionamento e estado de manutenção. Gomes (2009) destaca que a eficiência hidráulica e eletromecânica das bombas é determinante no consumo energético total do sistema, e que muitos conjuntos instalados em edificações operam fora do ponto de melhor rendimento, resultando em perdas significativas.

Pesquisas recentes reforçam essa realidade. Souza et al. (2021), ao analisarem sistemas de bombeamento em edificações multifamiliares, identificaram que grande parte dos edifícios possui bombas antigas, automação limitada e curvas de operação desalinhadas com a demanda real, levando ao aumento do consumo de energia e da frequência de manutenções corretivas. Da mesma forma, estudos

internacionais em prédios de grande porte apontam que sistemas de bombeamento mal projetados ou envelhecidos apresentam baixo desempenho energético e elevada probabilidade de falhas (Müller, 2021; Smith, 2017).

No contexto deste trabalho, analisou-se o sistema de bombeamento de um condomínio residencial que utilizava uma bomba centrífuga de 10 CV instalada em casa de máquinas e dependente de linha de sucção. Embora cumprisse sua função, o conjunto apresentava elevado consumo energético, maior propensão a falhas e necessidade recorrente de intervenções. Além disso, havia registros de perda de escorva, exigindo acionamentos manuais para restabelecer o funcionamento e aumentando o risco de interrupções no abastecimento. A substituição por uma bomba submersível multietapas de 5 CV surgiu como alternativa técnica capaz de melhorar o desempenho hidráulico, reduzir o consumo energético e aumentar a confiabilidade operacional, conforme observado também em estudos de otimização de sistemas em edifícios (Wong et al., 2016).

Diante desse cenário, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica e econômica da modernização do sistema de bombeamento do condomínio, por meio da substituição de uma bomba centrífuga de 10 CV por uma bomba submersível multietapas de 5 CV associada a um sistema de automação e proteção elétrica adequado.

A pesquisa adota abordagem de estudo de caso, com caráter aplicado e descritivo. Os dados utilizados foram obtidos a partir de catálogos e manuais de fabricantes, informações técnicas da instalação existente, estimativas de tempo de funcionamento diário e simulações comparativas de consumo energético para os dois cenários: antes e depois da modernização. Sempre que possível, os resultados foram confrontados com dados reais de consumo fornecidos pelos responsáveis pelo condomínio.

Este trabalho se justifica pela necessidade crescente de tornar os sistemas prediais mais eficientes, seguros e sustentáveis. Pesquisas como as de Procel (2005), Gómez (2009) e Souza et al. (2021) apontam que melhorias no desempenho de sistemas de bombeamento podem gerar economias significativas e reduzir o impacto ambiental associado ao uso da energia. Em um cenário de tarifas crescentes de energia elétrica e de maior preocupação com a sustentabilidade, a modernização dos sistemas de bombeamento representa uma oportunidade concreta

de otimizar recursos e garantir maior confiabilidade ao abastecimento de água em edificações residenciais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SISTEMA DE BOMBEAMENTO PREDIAL

Os sistemas de bombeamento predial desempenham papel essencial no abastecimento de água em edificações, promovendo a elevação da água desde um ponto de captação ou reservatório inferior até os pontos de consumo localizados em pavimentos superiores (AECWeb, 2017). Em edifícios residenciais e comerciais, o método mais utilizado é o sistema de recalque, no qual motobombas transferem a água da cisterna (reservatório inferior) para o reservatório elevado, possibilitando a distribuição por gravidade. Estudos recentes apontam que, em edificações multifamiliares, os sistemas de bombeamento podem representar parcela significativa do consumo energético, reforçando a importância de projetos hidráulicos corretamente dimensionados (Souza et al., 2021).

Outra configuração possível é o sistema pressurizado direto, em que não há reservatório superior: as bombas permanecem em operação conforme a variação da pressão na rede hidráulica, garantindo o abastecimento contínuo. Em ambos os modelos, elementos como bombas, tubulações, válvulas de retenção, registros de fechamento e reservatórios compõem a base do sistema (Silva, 2022). O dimensionamento adequado desses componentes é determinante para o funcionamento eficiente e seguro das instalações prediais.

A norma ABNT NBR 5626:2020 estabelece critérios de desempenho, recomendações de projeto e diretrizes voltadas ao uso racional de água e energia, reforçando a importância de seguir parâmetros técnicos durante o desenvolvimento da instalação. Dessa forma, a seleção da bomba — incluindo tipo, vazão nominal, altura manométrica total e potência do motor — deve ser compatível com as características hidráulicas da edificação.

A definição da vazão de recalque, por exemplo, deve considerar a demanda diária estimada, o tempo de funcionamento admissível para o conjunto motobomba e a capacidade dos reservatórios, conforme metodologias aplicadas em sistemas prediais de água fria (JUSTINO, 2010). Após esse levantamento, são

calculadas as perdas de carga distribuídas e concentradas ao longo da tubulação, possibilitando determinar a altura manométrica total.

Conforme orienta Niero (2017), a escolha da motobomba deve ocorrer somente após a definição completa do sistema, considerando cálculos de perda de carga, capacidade dos reservatórios e demanda diária de abastecimento. Esse procedimento evita tanto o subdimensionamento, que pode comprometer o fornecimento de água, quanto o superdimensionamento, que resulta em maior consumo energético e custos operacionais elevados. Esses aspectos serão analisados no estudo de caso apresentado neste trabalho, especialmente no contexto da substituição de uma bomba centrífuga de 10 CV por uma bomba submersível de 5 CV.

2.1.1. Eficiência energética em motobombas

Em prédios de médio e grande porte, as bombas hidráulicas estão entre os equipamentos que mais consomem energia elétrica da edificação. Motores elétricos acionam diversas cargas mecânicas — ventiladores, compressores e bombas — e, no setor industrial, esses sistemas motorizados podem representar cerca de 68% do consumo total de energia elétrica (Melazzo; Pereira; Silva, 2019). Especificamente, os sistemas de bombeamento podem responder por aproximadamente 18% do uso de energia na movimentação de fluidos, o que evidencia o potencial de economia quando se busca otimizar seu desempenho. Em edificações prediais, essa participação varia conforme o porte da instalação, mas a eficiência energética permanece como objetivo essencial, tanto pela redução de custos operacionais quanto pela sustentabilidade do empreendimento (Souza et al., 2021).

A eficiência global de um sistema de bombeamento depende do rendimento combinado da bomba e do motor elétrico acoplado. No caso das bombas centrífugas, o melhor desempenho ocorre quando o equipamento opera próximo ao seu ponto de melhor eficiência (BEP – Best Efficiency Point). Quando o funcionamento se desvia desse ponto — seja por vazão excessivamente baixa ou alta — há perda de rendimento, aumento do consumo específico de energia e maior desgaste mecânico (Eletrobrás, 2005). Bombas multietapas ou submersíveis, como as utilizadas em sistemas modernos, apresentam eficiência superior em aplicações

de recalque vertical, pois eliminam problemas de sucção e operam submersas, garantindo condições hidráulicas mais estáveis.

Da mesma forma, os motores elétricos possuem classes de rendimento estabelecidas por normas internacionais, como IE2, IE3 e IE4. Motores de alto rendimento apresentam perdas reduzidas e maior capacidade de converter energia elétrica em trabalho mecânico útil, diminuindo perdas térmicas e elevando o desempenho do conjunto motobomba. Além disso, a seleção da potência deve ser compatível com a carga real: motores superdimensionados operam com baixo fator de carga e pior eficiência, consumindo mais energia do que o necessário (Mello et al., 2018).

Outro fator determinante para a eficiência é o dimensionamento e o projeto hidráulico do sistema. Tubulações com diâmetros inadequados, perdas de carga excessivas, curvas em excesso, válvulas mal posicionadas e longos trechos horizontais ou verticais podem comprometer o desempenho da bomba. Em contrapartida, boas práticas de projeto, como uso de tubulações dimensionadas corretamente, redução de restrições no escoamento e posicionamento adequado das válvulas de retenção e registros, minimizam esforços desnecessários e reduzem o consumo energético. A ABNT NBR 5626 reforça que instalações prediais devem ser projetadas considerando o uso eficiente de água e energia, destacando a importância do correto dimensionamento desde a fase de projeto.

A manutenção preventiva também desempenha papel fundamental. Incrustações, desgaste de rolamentos, desalinhamento e selos desgastados aumentam o atrito e exigem maior esforço do motor para bombear a mesma vazão. Conforme Kardec e Nascif (2009), bombas desreguladas podem consumir significativamente mais energia, mesmo mantendo a mesma função hidráulica. Procedimentos regulares de inspeção, limpeza e ajuste mantêm o conjunto operando próximo à sua condição original de projeto.

Por fim, em edificações com diferentes demandas ao longo do dia, a operação ordenada das bombas e a correta definição de horários de funcionamento contribuem para o desempenho energético. Em sistemas simples, o comando é realizado por relés de nível e proteções elétricas, garantindo automação essencial sem complexidade adicional. Embora existam tecnologias mais avançadas de controle, a modernização analisada neste estudo concentra-se na melhor seleção da

bomba, melhor rendimento hidráulico e motor compatível, fatores suficientes para alcançar ganhos expressivos de eficiência.

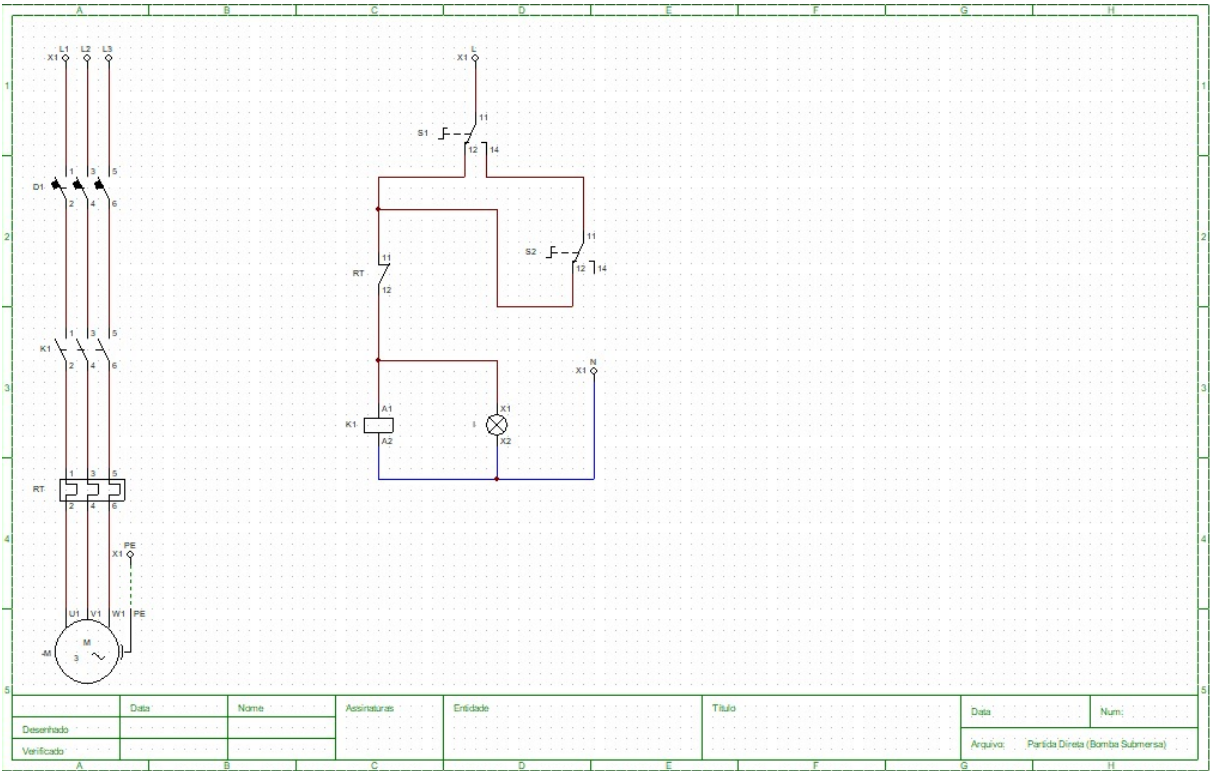
2.1.2. Automação básica de sistemas de bombeamento

A automação básica em sistemas de bombeamento predial tem como função garantir o acionamento adequado das bombas conforme as necessidades de abastecimento, reduzindo intervenções manuais, prevenindo falhas operacionais e melhorando a confiabilidade da instalação. Em edifícios residenciais, esse tipo de automação utiliza componentes simples, como sensores de nível, sensores de fluxo, contadores, válvulas solenoides e dispositivos de proteção elétrica, os quais atuam de forma coordenada para manter o fornecimento de água contínuo e seguro (Santos, 2011).

Nos sistemas com reservatório superior, modelo predominante em edificações brasileiras, a lógica de acionamento é geralmente baseada no nível de água do reservatório elevado. Boias de nível instaladas nesse reservatório comandam a partida e o desligamento da bomba principal: quando o nível atinge o ponto mínimo, um relé é acionado e a bomba inicia o recalque; ao atingir o nível máximo, o circuito interrompe o funcionamento. Esse método simples evita o funcionamento contínuo e reduz desperdícios de energia resultantes de acionamentos desnecessários (Costa et al., 2017).

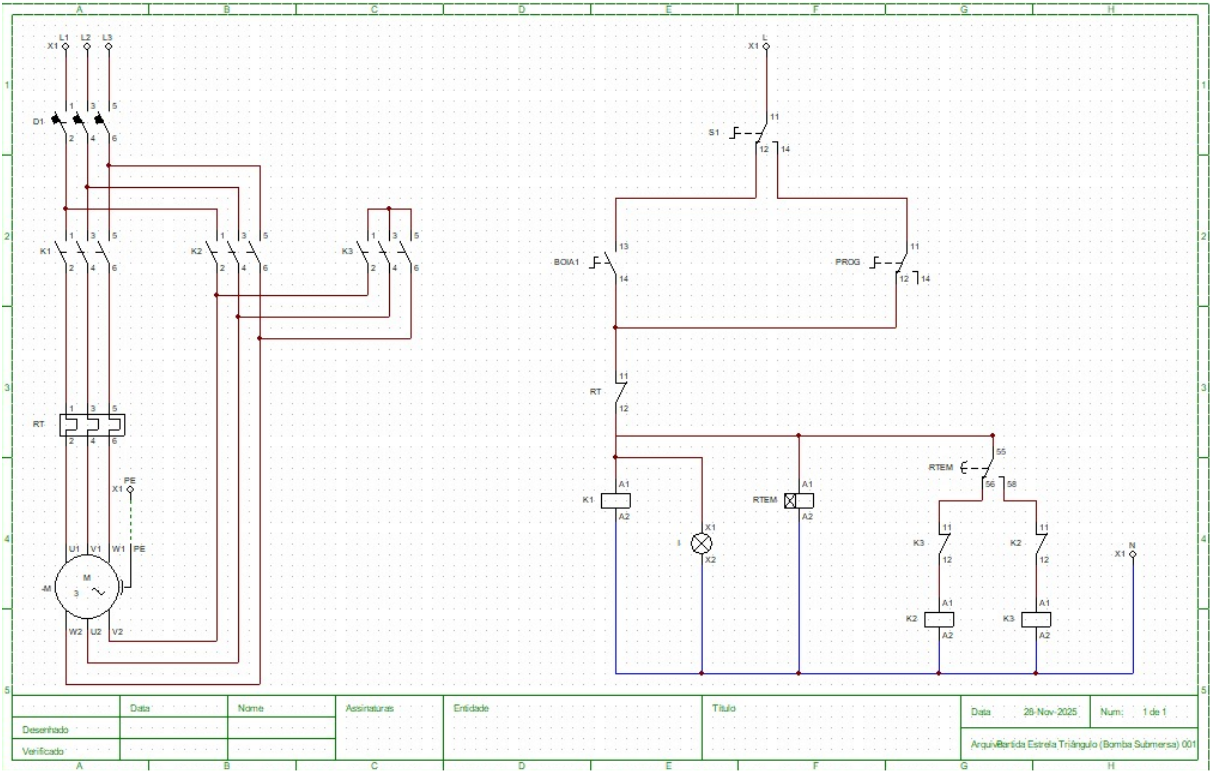
Ainda no contexto da automação básica, o acionamento dos motores elétricos pode ser realizado por diferentes métodos de partida, escolhidos de acordo com a potência do motor e as limitações da instalação. Em sistemas prediais, a partida direta é amplamente utilizada para motores de menor potência, enquanto a partida estrela-triângulo costuma ser aplicada em motores de maior potência, visando reduzir a corrente de partida. As Figuras 1 e 2 apresentam, respectivamente, diagramas esquemáticos simplificados desses dois métodos de acionamento.

Figura 1. Diagrama esquemático de partida direta de motor trifásico.



Fonte: (Autores, 2025).

Figura 2. Diagrama esquemático de partida estrela-triângulo de motor trifásico.



Fonte: (Autores, 2025)

Além do controle por nível, sistemas mais completos incorporam rotinas de alternância e redundância. Em instalações com duas bombas, uma principal e outra reserva, é possível programar alternância automática por tempo, equilibrando o desgaste mecânico dos equipamentos. Essa prática evita que apenas uma bomba opere constantemente enquanto a outra permanece longos períodos sem uso, o que pode levar ao travamento do rotor ou à deterioração dos componentes internos (Niero, 2017).

No contexto específico deste estudo de caso, a proposta de modernização considera manter a bomba centrífuga existente como unidade de reserva, enquanto a bomba principal passa a ser uma bomba submersa multietapas instalada diretamente na cisterna. Para garantir a redundância operacional, o sistema proposto passa a contar com um sensor de fluxo instalado na linha de recalque da bomba submersa, responsável por verificar se há passagem de água após o comando de partida. Caso venha a ser implementado, esse recurso permitirá que a automação interprete a ausência de fluxo dentro de um intervalo programado como indicativo de falha na bomba principal.

Nessa condição, o arranjo sugerido prevê a atuação de um mecanismo automático de comutação. Uma válvula solenoide instalada na linha hidráulica mudaria de posição, permitindo que a linha de recalque fosse atendida pela bomba centrífuga reserva. Em seguida, essa bomba seria acionada automaticamente, garantindo a continuidade do abastecimento mesmo em caso de falha da bomba principal. Esse procedimento, quando implementado, tende a assegurar que o sistema continue operando sem interrupção, aumentando significativamente a confiabilidade e reduzindo a necessidade de intervenção manual imediata por parte dos operadores.

A automação proposta também incorpora dispositivos de proteção essenciais, como relés térmicos, sensores de falta de fase e disjuntores apropriados, que preservam o conjunto motobomba contra condições elétricas inadequadas. Assim, mesmo com uma automação simples, é possível garantir segurança, durabilidade e economia operacional — especialmente em sistemas prediais onde o fluxo de água é vital para o conforto dos moradores.

A adoção desse conjunto de controles e proteções, quando efetivamente implementada, complementa as melhorias trazidas pela substituição da bomba principal, resultando em um sistema potencialmente mais moderno, eficiente e

confiável, compatível com as necessidades da edificação e alinhado às boas práticas recomendadas pela literatura técnica e pelas normas aplicáveis.

2.1.3. Manutenção preventiva e confiabilidade operacional

A manutenção preventiva de motobombas consiste em um conjunto de ações planejadas que visam reduzir ou evitar falhas e queda de desempenho dos equipamentos, por meio de intervenções antecipatórias (Kardec; Nascif, 2009). Diferentemente da manutenção corretiva — realizada apenas após a falha — a preventiva ocorre em intervalos predeterminados ou conforme critérios de condição, garantindo que os conjuntos motobomba permaneçam operando dentro dos parâmetros nominais. Em sistemas de bombeamento predial, esse tipo de manutenção está diretamente associado à confiabilidade operacional, uma vez que evita paradas inesperadas no abastecimento de água, fator crítico em condomínios residenciais, hospitais ou edifícios comerciais, onde a disponibilidade deve ser contínua.

No que se refere à confiabilidade, práticas preventivas e preditivas, quando associadas à redundância de equipamentos, constituem a base para sistemas de abastecimento mais robustos. A presença de uma bomba reserva instalada em paralelo assegura que, caso a bomba principal necessite de reparo, o fornecimento não seja interrompido (Plaza, 2017). Em edificações residenciais, recomenda-se que cada sistema de recalque disponha de ao menos uma bomba sobressalente — seja para água potável, esgoto ou combate a incêndio — evitando a dependência exclusiva de uma única unidade. Em instalações com bombas submersas, como poços artesianos ou cisternas profundas, a existência de uma unidade reserva torna-se ainda mais relevante, pois a remoção da bomba submersa exige mais tempo, mão de obra especializada e maior custo operacional (Plaza, 2017).

No sistema analisado neste estudo, a proposta de modernização considera a manutenção preventiva associada a recursos de automação básica que auxiliem na detecção precoce de falhas. Nessa proposta, prevê-se a instalação de um sensor de fluxo na linha da bomba submersa, capaz de identificar a ausência de passagem de água logo após o acionamento, possibilitando uma resposta rápida em caso de anomalias. Caso, no futuro, esse recurso venha a ser implementado, a lógica

de automação poderá interpretar a ausência de fluxo dentro de um período programado como indicativo de falha da bomba principal e, então, comandar uma válvula solenoide para comutar a linha hidráulica, permitindo o acionamento automático da bomba centrífuga reserva. Esse arranjo, quando efetivamente adotado, tende a reduzir a necessidade de intervenções corretivas emergenciais e a manter a continuidade do abastecimento mesmo durante falhas da bomba principal.

Assim, a combinação entre manutenção preventiva, redundância adequada e automação para detecção de falhas — ainda que parte desses recursos esteja apresentada neste trabalho como proposta de melhoria — contribui significativamente para o aumento potencial da disponibilidade, da segurança operacional e da vida útil das instalações prediais de bombeamento.

2.1.4. Sustentabilidade e economia de energia

A busca por eficiência nos sistemas prediais de bombeamento está diretamente associada aos princípios de sustentabilidade ambiental, ao uso racional dos recursos naturais e à redução do consumo energético das edificações. Em sistemas hidráulicos, melhorias de desempenho que resultam em menor consumo de energia elétrica ou em redução da demanda hídrica contribuem não apenas para a economia financeira do empreendimento, mas também para a diminuição do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida da edificação. Estudos recentes em edificações multifamiliares apontam que sistemas de bombeamento podem representar parcela significativa do consumo energético total, e que a melhoria da eficiência hidráulica e motriz das bombas pode reduzir em até 20–30% o uso de energia nesses sistemas (Souza et al., 2021).

Bombas corretamente dimensionadas, operadas próximo ao seu ponto de melhor eficiência e submetidas a manutenção adequada tendem a consumir menos energia, reduzindo as emissões indiretas de gases de efeito estufa associadas à geração de eletricidade (Smart Bombas, s.d.). Isso é particularmente relevante no contexto brasileiro, onde parte significativa da matriz energética ainda envolve fontes termelétricas em horários de pico. De forma complementar, em sistemas prediais a redução de perdas hidráulicas, como vazamentos em tubulações ou conexões, diminui a necessidade de bombeamento adicional para recomposição dos volumes perdidos, contribuindo tanto para a eficiência hídrica quanto para a energética.

A eficiência energética em motobombas também se relaciona com normas, programas e certificações voltadas à construção sustentável. Sistemas de classificação como Procel Edifica, LEED e AQUA-HQE valorizam edificações com baixo consumo de recursos e maior racionalidade operacional, e reconhecem a importância de equipamentos eficientes e de práticas de gestão hídrica. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) destaca que a racionalização do uso de energia em equipamentos eletromecânicos — entre eles bombas e motores — constitui uma das estratégias de mais rápida implementação e menor custo para reduzir impactos ambientais e otimizar o desempenho energético de edificações. Embora não exista, no Brasil, um selo Procel específico para bombas prediais, a utilização de motores com alto rendimento (classes IE3 e IE4) e de bombas com curvas de desempenho otimizadas contribui diretamente para o atendimento a tais programas.

Diversas iniciativas podem ser adotadas para promover a sustentabilidade no bombeamento predial. Entre elas estão: o uso de motores de alto rendimento; o correto dimensionamento das bombas e tubulações para minimizar perdas de carga; o monitoramento do consumo e das pressões de operação; e a possibilidade de programar funcionamentos fora dos horários de ponta tarifária, quando permitido pela configuração hidráulica do sistema. Em alguns cenários, especialmente em edificações horizontais, empreendimentos isolados ou propriedades rurais, sistemas de bombeamento alimentados parcialmente por energia fotovoltaica têm sido utilizados como alternativa para reduzir o consumo proveniente da rede elétrica e ampliar a autonomia energética (Energia Total, 2023). Em edifícios urbanos convencionais, embora o bombeamento solar direto não seja comum, a geração fotovoltaica distribuída pode compensar parte da energia utilizada pelas motobombas, integrando-se a estratégias mais amplas de uso de energias renováveis.

Além disso, práticas de uso racional da água também impactam diretamente a eficiência do bombeamento. A ABNT NBR 5626:2020, em seu anexo de diretrizes para uso racional da água, recomenda soluções que evitem consumos desnecessários, como a setorização de redes, a limitação de pressões excessivas que provocam desperdícios e a adoção de sistemas de monitoramento capazes de identificar padrões anômalos de consumo. Sistemas de automação podem

desempenhar papel relevante nesse contexto, detectando quedas abruptas de pressão, tempos de funcionamento acima do esperado ou acionamentos frequentes da bomba, auxiliando na identificação precoce de vazamentos ou anomalias operacionais.

Assim, a melhoria da eficiência e sustentabilidade de sistemas prediais de bombeamento envolve um conjunto integrado de estratégias — dimensionamento adequado, automação, manutenção preventiva, redução de perdas e incorporação de fontes energéticas alternativas. No caso analisado neste trabalho, embora a modernização não inclua o uso de energias renováveis ou tecnologias de reuso, a substituição do conjunto motobomba e a adoção de um conjunto de controles automáticos, parte deles já implementados e parte proposta como melhoria futura, contribuem significativamente para a redução do consumo de energia e para o uso mais racional dos recursos hídricos, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade aplicáveis às edificações residenciais contemporâneas.

3. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, desenvolvido em um condomínio residencial, a partir de um projeto técnico originalmente concebido por um profissional especializado em sistemas de bombeamento e perfuração de poços. A metodologia adotada combina levantamento de dados em campo, consulta a catálogos técnicos de fabricantes, tratamento de informações de consumo de energia elétrica e análise comparativa entre o sistema existente e a solução modernizada.

A seguir, são apresentadas as etapas metodológicas empregadas neste estudo.

3.1. TIPO DE PESQUISA

A pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser classificada de acordo com diferentes critérios metodológicos amplamente discutidos por autores como Gil (2008), Lakatos e Marconi (2003) e Yin (2015).

Trata-se de uma pesquisa aplicada, pois tem como finalidade solucionar um problema concreto identificado no condomínio estudado: o elevado consumo de energia elétrica e a baixa confiabilidade operacional associada ao sistema de

bombeamento anterior. A modernização parcial já instalada no local (substituição da bomba e painel com proteções básicas) gerou condições reais para a investigação, enquanto a lógica de redundância automatizada é apresentada como proposta complementar. A pesquisa apresenta caráter descritivo e explicativo. É descritiva ao registrar e comparar as características técnicas dos dois sistemas analisados (bomba centrífuga de 10 CV e bomba submersa de 5 CV), bem como os padrões de funcionamento, consumo, automação e manutenção. É explicativa porque busca compreender e justificar os efeitos da modernização sobre o desempenho energético, a redução de falhas, a melhoria da confiabilidade e o impacto econômico resultante da intervenção.

A abordagem é mista (qualitativa e quantitativa). É qualitativa ao considerar observações diretas, relatos de manutenção, problemas operacionais e informações fornecidas pelo profissional responsável pelo projeto. Ao mesmo tempo, é quantitativa ao utilizar cálculos de consumo energético, estimativa de horas de funcionamento, comparação de potências, análise de rendimento e cálculo de payback.

O método adotado é o estudo de caso, conforme caracterizado por Yin (2015), uma vez que se analisa em profundidade uma instalação específica, utilizando dados reais obtidos em campo, consultas técnicas a catálogos de fabricantes e informações fornecidas pelos responsáveis pela operação e modernização do sistema. Esse procedimento permite uma compreensão completa das causas, efeitos e benefícios associados à mudança do conjunto motobomba e da automação.

3.2. LEVANTAMENTO DE DADOS DO SISTEMA EXISTENTE

O levantamento inicial consistiu na análise completa do sistema de bombeamento em operação no condomínio, abrangendo aspectos hidráulicos, elétricos e operacionais. As principais ações realizadas foram:

Identificação da bomba centrífuga de 10 CV utilizada no sistema original, registrando potência nominal, tensão de alimentação, tipo de motor, número de estágios (discos), vazão aproximada e altura manométrica de trabalho observada nas condições reais de operação.

Inspeção detalhada do arranjo hidráulico existente, incluindo o reservatório inferior, tubulação de sucção equipada com válvula de pé, diâmetro e

condição das tubulações, percurso da linha de recalque até o reservatório superior, quantidade de curvas e desníveis, além da confirmação da topologia de abastecimento por recalque e distribuição por gravidade.

Coleta de informações sobre o tempo médio diário de funcionamento da bomba, com base em relatos do síndico e do responsável técnico, considerando variações sazonais e horários de maior demanda.

Registro da frequência e natureza das manutenções corretivas, identificando as falhas mais recorrentes, como perda de escorva, desgaste de rolamentos, problemas em selos mecânicos e vedações, necessidade de intervenções manuais para retorno da operação, e instabilidades decorrentes de funcionamento prolongado.

Avaliação visual e operacional do conjunto hidráulico, verificando ruídos anormais, vibração excessiva, sinais de corrosão nas tubulações e desgaste da instalação da casa de máquinas, fatores que comprometiam o desempenho global do sistema.

Avaliação do quadro elétrico e dos dispositivos de comando existentes, que se encontravam em estado crítico de conservação: o painel apresentava forte corrosão, componentes obsoletos e com mau funcionamento, como disjuntores antigos, fusíveis inadequados, relés de proteção desgastados e contadoras com falhas intermitentes. Essa condição representava não apenas risco elétrico, mas também reduzida confiabilidade operacional, contribuindo diretamente para as paradas inesperadas da bomba e para a dificuldade de manutenção preventiva eficaz.

O conjunto dessas informações permitiu caracterizar com precisão o estado do sistema original, evidenciando limitações técnicas, energéticas e operacionais que justificaram a proposta de modernização apresentada nas etapas seguintes.

3.3. SELEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO NOVO CONJUNTO DE BOMBEAMENTO

A seleção e o dimensionamento do novo conjunto de bombeamento foram realizados com base nos requisitos hidráulicos do condomínio e nas limitações identificadas no sistema anterior. Considerou-se a altura manométrica total

aproximada de 60 metros entre o reservatório inferior e o reservatório superior, bem como a necessidade de vazão em torno de 12.000 L/h, em consonância com as práticas recomendadas pela ABNT NBR 5626:2020 para sistemas prediais de abastecimento de água. Esses parâmetros visaram garantir o atendimento da demanda diária de consumo com margem adequada de segurança operacional.

Para a escolha do equipamento, foram consultados catálogos técnicos e curvas de desempenho de bombas submersíveis multietapas, relacionando vazão, altura manométrica e potência absorvida. A análise foi conduzida adotando os critérios de seleção apresentados por Niero (2017), priorizando o funcionamento do conjunto próximo ao ponto de melhor eficiência (BEP – *Best Efficiency Point*). Dessa forma, buscou-se não apenas atender às necessidades de vazão e pressão, mas também minimizar o consumo específico de energia (kWh/m³) e reduzir o esforço mecânico sobre os componentes.

Com base nas curvas comparativas, foi selecionado um modelo de bomba submersível multietapas de 5 CV, capaz de atender à vazão requerida na altura manométrica especificada. A adoção da bomba submersa trouxe vantagens importantes em relação à centrífuga de 10 CV utilizada anteriormente, como eliminação dos problemas de escorva, redução de perdas na sucção, menor vibração, funcionamento mais estável e tendência de maior confiabilidade operacional. Além disso, a instalação em configuração de sucção afogada contribui para melhorar as condições de NPSH disponível, reduzindo o risco de cavitação e aumentando a vida útil do conjunto.

Além da seleção hidráulica, foram definidos os dispositivos essenciais do sistema de comando e proteção do novo conjunto, incluindo contadores, relés de proteção, dispositivos contra funcionamento a seco, chaves ou sensores de nível e disjuntores dimensionados conforme a corrente nominal do motor. Esses elementos, parcialmente já implementados no painel modernizado, compõem a base de uma automação simples, porém eficaz, voltada à operação segura e ao desligamento automático em situações de anomalia.

No que se refere à confiabilidade e à continuidade do abastecimento, este trabalho também propôs uma lógica de redundância para o sistema. Nessa proposta, a bomba centrífuga original passa a atuar como unidade de reserva, podendo assumir o recalque em caso de falha da bomba submersa principal. Para

viabilizar essa estratégia, prevê-se a instalação de um sensor de fluxo na linha de recalque da bomba submersa e de uma válvula solenoide na linha hidráulica, permitindo a comutação automática para a bomba reserva em situações de ausência de fluxo após o comando de partida. Uma vez implementada, essa lógica de redundância tem potencial para assegurar a continuidade do fornecimento de água, reduzir a necessidade de intervenções corretivas emergenciais e elevar o nível de confiabilidade do sistema.

Dessa forma, a etapa de seleção e dimensionamento do novo conjunto de bombeamento foi fundamentada em práticas consolidadas de engenharia, em normas técnicas aplicáveis e em dados reais da instalação. A solução adotada, combinada às melhorias propostas no sistema de comando e proteção, busca atender às necessidades operacionais do condomínio com maior eficiência energética, melhor desempenho hidráulico e menor demanda de manutenção ao longo do ciclo de vida do equipamento.

3.4. TRATAMENTO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os dados levantados durante o estudo foram organizados de forma simples e objetiva, com o objetivo de permitir uma comparação direta entre o sistema de bombeamento original e o sistema modernizado. As principais informações de cada conjunto, como potência nominal, vazão, altura manométrica aproximada, tipo de instalação e histórico de falhas mais recorrentes, foram reunidas em planilhas e utilizadas para montar tabelas comparativas básicas ao longo do trabalho.

Para estimar o impacto energético e econômico da modernização, adotou-se um cenário de operação típico informado pelos responsáveis pelo condomínio, considerando o tempo médio diário de funcionamento das bombas. Com base na potência nominal de cada equipamento, no tempo de uso estimado e na tarifa de energia elétrica vigente, foram calculadas estimativas de consumo mensal, custo de operação e economia percentual obtida com a substituição da bomba. A partir desses valores, também foi estimado, de forma simplificada, o tempo de retorno do investimento (payback).

Sempre que possível, essas estimativas foram comparadas de maneira qualitativa com informações de contas de energia e relatos fornecidos pelos

responsáveis pela edificação, a fim de verificar se os resultados calculados estavam coerentes com a realidade observada. Por fim, os resultados foram interpretados à luz dos conceitos apresentados na fundamentação teórica, especialmente aqueles relacionados à eficiência energética, à confiabilidade e à manutenção do sistema de bombeamento, evidenciando de forma prática os benefícios esperados com a modernização proposta.

3.5. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

É importante reconhecer as limitações inerentes ao presente estudo, especialmente considerando seu caráter aplicado e o nível técnico do Trabalho de Conclusão de Curso. Os valores de consumo energético e desempenho hidráulico do sistema original foram estimados com base em catálogos de fabricantes e em informações fornecidas pelos responsáveis pela edificação, uma vez que a instalação antiga não possuía instrumentos de medição confiáveis para registro de pressão, vazão ou potência elétrica real. Além disso, a bomba centrífuga de 10 CV apresentava desgaste acentuado e problemas recorrentes de escorva, o que dificulta a correspondência exata entre os dados de catálogo e o desempenho efetivo em campo.

A análise energética também foi limitada pela ausência, até o momento, das faturas reais de consumo após a implantação definitiva da bomba submersível de 5 CV. Assim, os cálculos de economia e estimativas de redução de custos foram baseados em valores médios de horas de funcionamento e tarifas típicas de energia elétrica. Uma validação mais precisa somente poderá ser realizada quando houver um período mínimo de operação contínua do novo sistema e acesso às contas reais do condomínio.

Outro aspecto a ser considerado refere-se à análise econômica, que foi conduzida de forma simplificada, contemplando apenas estimativas de economia mensal e cálculo de payback. Procedimentos mais avançados, como valor presente líquido, taxa interna de retorno ou simulações de sensibilidade tarifária, não foram aplicados devido ao escopo e ao nível técnico do trabalho. Da mesma forma, não foram utilizadas ferramentas computacionais de modelagem hidráulica ou simulações de desempenho.

Por fim, por tratar-se de um estudo de caso específico, os resultados obtidos refletem as características particulares da instalação avaliada e não podem ser generalizados para todos os sistemas de bombeamento predial. Ainda assim, as conclusões apresentadas fornecem subsídios relevantes para compreender os benefícios da modernização e apoiar decisões futuras em contextos semelhantes.

4. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentada a aplicação prática da metodologia descrita no Capítulo 3, por meio do estudo de caso realizado em um condomínio residencial cujo sistema de abastecimento utilizava uma bomba centrífuga de 10 CV para o recalque de água. Inicialmente, são caracterizadas as condições reais do sistema original, com base no levantamento de campo, identificação de falhas operacionais, limitações hidráulicas e histórico de manutenção. Em seguida, é apresentada a proposta de modernização, composta pela substituição do conjunto motobomba por uma bomba submersível multietapas de 5 CV e pela implementação de um novo painel de comando e automação, incluindo dispositivos de proteção, sensores de nível e lógica de redundância.

Posteriormente, são analisados os impactos da modernização sobre o consumo de energia, desempenho hidráulico, confiabilidade e manutenção do sistema, comparando os resultados obtidos com os valores estimados e com os referenciais técnicos discutidos na fundamentação teórica. Por fim, apresenta-se uma avaliação econômica simplificada, contemplando estimativas de economia mensal e cálculo do tempo de retorno do investimento, permitindo verificar a viabilidade técnica e financeira da solução proposta para a realidade condominial.

4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CONDOMÍNIO E DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO

O estudo de caso foi desenvolvido em um condomínio residencial de padrão urbano, composto por múltiplos pavimentos e com demanda diária significativa de água para uso doméstico. O abastecimento é realizado a partir de um reservatório inferior (cisterna), alimentado pela rede pública, de onde a água é transportada por um sistema de recalque até um reservatório superior. A partir desse reservatório elevado, a distribuição ocorre por gravidade para todas as unidades,

conforme previsto nas diretrizes da ABNT NBR 5626:2020 para instalações prediais de água fria. Assim, o sistema de bombeamento desempenha papel fundamental para a segurança hídrica dos moradores, especialmente nos períodos de maior consumo.

Antes da modernização, o conjunto de recalque era composto por uma bomba centrífuga de 10 CV instalada em casa de máquinas ao lado da cisterna, operando com linha de sucção equipada com válvula de pé e tubulação de recalque direcionada ao reservatório superior. O comando elétrico era simples, baseado em partida estrela-triângulo e com proteções limitadas a dispositivos básicos de sobrecorrente e falta de fase. Além disso, o painel apresentava sinais de desgaste e componentes antigos, o que aumentava a probabilidade de falhas.

Na prática, a operação do sistema exigia que a bomba permanecesse em bom estado para atender à demanda diária do condomínio. Entretanto, foram observados problemas recorrentes relacionados à perda de escorva, desgaste de componentes mecânicos, acionamentos manuais frequentes e falta de confiabilidade do sistema de automação. Esses fatores, associados ao elevado consumo energético do conjunto antigo, motivaram a necessidade de modernização analisada neste trabalho, a qual é detalhada nos tópicos seguintes.

4.2. CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO EXISTENTE

Com base no levantamento realizado em campo e descrito na metodologia (item 3.2), verificou-se que o sistema de bombeamento original era composto por uma bomba centrífuga Jacuzzi, modelo 10MC4-T, de 10 CV instalada em casa de máquinas adjacente à cisterna, operando em linha de sucção equipada com válvula de pé. Esse arranjo dependia da manutenção constante da escorva, uma vez que a bomba não era submersa, o que tornou o sistema suscetível à entrada de ar na sucção e à ocorrência de funcionamento a seco em diversos momentos.

Segundo relatos do responsável técnico e do síndico, eram registradas dificuldades frequentes de escorva após paradas prolongadas, ruídos elevados, vibrações anormais durante a operação, além de trocas recorrentes de rolamentos, selos mecânicos e vedação. Também foi relatado que, em alguns períodos de uso intenso, havia aumento significativo no valor da conta de energia elétrica, indicando

baixo rendimento operacional. O tempo médio diário de funcionamento informado foi de aproximadamente 6 horas, distribuídas ao longo do dia conforme a reposição do reservatório superior.

A Figura 3 apresenta a bomba centrífuga Jacuzzi 10MC4-T utilizada no sistema original, ilustrando o arranjo descrito no parágrafo anterior e permitindo visualizar a configuração que dependia da manutenção constante da escorva.

Figura 3. Bomba centrífuga Jacuzzi modelo 10MC4-T utilizada no sistema original



Fonte: (Coliseu Ferramentas, 2025)

Outro ponto relevante observado diz respeito à configuração de redundância do sistema de bombeamento. Já no arranjo original, havia duas bombas centrífugas instaladas, sendo uma utilizada como principal e a outra mantida como reserva, ambas conectadas à mesma linha de sucção. No entanto, não existia lógica de alternância ou transferência automática entre elas: em condições normais, apenas a bomba principal era acionada, e a reserva permanecia desligada, sendo utilizada apenas em situações de falha mediante intervenção manual no painel de comando.

Mesmo após a modernização, com a substituição da bomba principal por uma bomba submersa e a manutenção de uma centrífuga como reserva, essa característica se mantém: a comutação entre as bombas ainda depende de atuação do operador. A automação avançada para detecção automática de falha e transferência para a bomba reserva é apresentada neste trabalho como proposta de melhoria futura, não como recurso já implementado na instalação.

As características técnicas aproximadas da bomba centrífuga de 10 CV, incluindo parâmetros elétricos, hidráulicos e estado físico geral do equipamento, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas aproximadas da bomba centrífuga de 10 CV

Parâmetro técnico.	Especificação aproximada.
Tipo da bomba.	Centrífuga monobloco.
Potência nominal.	10 CV ($\approx 7,5$ kW).
Tensão de alimentação.	220/380 V – trifásico.
Corrente nominal.	16–22 A.
Vazão estimada (em operação).	~ 7.000 L/h.
Vazão nominal de catálogo.	8.000–10.000 L/h.
Altura manométrica total (HMT).	60 mca.
Número de estágios (discos).	3 discos.
Rendimento hidráulico estimado.	45–55%.
Tipo de sucção.	Sucção negativa com válvula de pé.
Tipo de acionamento.	Partida estrela–triângulo.
Painel elétrico.	Componentes antigos, corrosão, baixa proteção.
Automação.	Boias simples.
Condições do equipamento.	Desgaste, ruído, vibração, perda de escorva.
Redundância.	Bomba reserva sem automação; acionamento manual.

Fonte: (Autores, 2025)

4.3. DIAGNÓSTICO DAS LIMITAÇÕES DO SISTEMA ANTIGO

A partir do levantamento de dados realizado no sistema de bombeamento existente, foi possível identificar um conjunto amplo de limitações que comprometiam o desempenho energético, hidráulico e operacional do conjunto motobomba de 10 CV. Essas limitações, observadas tanto na análise física dos equipamentos quanto nos registros de funcionamento, foram organizadas em três eixos principais: aspecto energético, aspecto hidráulico e aspecto operacional/manutenção. Esse diagnóstico fundamenta tecnicamente a necessidade de modernização do sistema, ao demonstrar que a configuração anterior apresentava ineficiências estruturais e funcionais que interferiam na confiabilidade do abastecimento e no consumo de energia elétrica.

4.3.1. Aspecto energético

No eixo energético, o monitoramento do sistema demonstrou que a bomba centrífuga de 10 CV operava, em média, cerca de seis horas diárias para suprir a demanda do reservatório superior. Embora esse tempo de operação seja compatível com o porte do condomínio, a análise da potência instalada frente à demanda hidráulica revelou um cenário de baixa eficiência energética.

Bombas centrífugas monobloco antigas e superdimensionadas, como a encontrada na instalação original, frequentemente apresentam rendimento global (conjunto motor–bomba) situado entre 40% e 55%. Esse desempenho é significativamente inferior ao de tecnologias mais modernas, como as bombas submersíveis multietapas, cujo rendimento hidráulico pode superar 65% na mesma faixa de operação. A principal causa dessa disparidade no sistema antigo era a operação contínua fora do Ponto de Melhor Eficiência (BEP – Best Efficiency Point). Ao trabalhar deslocada da sua curva ideal de projeto, a bomba convertia uma parcela maior da energia elétrica não em vazão útil, mas em perdas por atrito, calor e vibração, acelerando o desgaste dos componentes internos.

Além disso, o controle do sistema original limitava-se basicamente ao acionamento liga/desliga em função do nível do reservatório superior, sem recursos adicionais de monitoramento ou otimização do funcionamento. Nessa configuração,

eventuais superdimensionamentos e operações fora do BEP não eram compensados por nenhuma estratégia de ajuste fino, o que resultava em maior consumo específico de energia e em custos operacionais mais elevados para o condomínio.

4.3.2. Aspecto hidráulico

Do ponto de vista hidráulico, o sistema original apresentava limitações estruturais intrínsecas às instalações de sucção negativa equipadas com válvula de pé. A tubulação de sucção, embora funcional, demonstrava suscetibilidade crônica à entrada de ar e à perda de estanqueidade da válvula de retenção inferior. Essa condição resultava na frequente "perda de escorva", falha operacional relatada recorrentemente pela equipe de manutenção, que exigia intervenções manuais imediatas para o reenchimento da voluta e da tubulação. Tais paradas não programadas geravam indisponibilidade no abastecimento e expunham o sistema a riscos de operação a seco.

Adicionalmente, identificou-se que o arranjo hidráulico operava próximo ao limite crítico de cavitação, especialmente em cenários de nível reduzido no reservatório inferior (cisterna). O fenômeno da cavitação ocorre quando a altura de sucção positiva líquida disponível (NPSH disponível) torna-se inferior à requerida pela bomba (NPSH requerido), provocando a vaporização do fluido e a subsequente implosão de bolhas de vapor nas regiões de alta pressão do rotor. As consequências físicas observadas no equipamento antigo — ruído excessivo, vibração anômala e erosão das pás do impulsor — são sintomas clássicos desse regime de operação.

A vibração induzida pela cavitação e pelo desbalanceamento hidráulico atuava também como agente de degradação acelerada de componentes mecânicos periféricos, como selos mecânicos e rolamentos, justificando a alta frequência de substituição dessas peças. Somam-se a isso as elevadas perdas de carga distribuídas e localizadas, decorrentes de tubulações envelhecidas, excesso de conexões e layout pouco otimizado, que elevavam a Altura Manométrica Total (HMT) do sistema. Esse incremento de carga forçava a bomba a operar ainda mais distante do seu ponto de melhor eficiência (BEP), fechando um ciclo vicioso de desperdício de energia e desgaste prematuro.

4.3.3. Aspecto operacional e de manutenção

No eixo operacional e de manutenção, diagnosticou-se um cenário de baixa confiabilidade e custos de intervenção elevados. Os registros técnicos apontaram uma Média de Tempo Entre Falhas (MTBF) extremamente reduzida, exigindo, em média, duas manutenções corretivas mensais. As intervenções concentravam-se na substituição prematura de selos mecânicos e rolamentos, além de reparos em vazamentos nas conexões de sucção. Essa recorrência de falhas mecânicas não era aleatória, mas sim uma consequência direta da vibração excessiva induzida pela cavitação e pela operação fora do ponto de projeto (BEP), conforme detalhado nos itens anteriores.

A vibração atua como agente de fadiga nos componentes rotativos, comprometendo a integridade das vedações e reduzindo drasticamente a vida útil do conjunto. A vulnerabilidade do sistema era agravada pela obsolescência do painel de comando, que operava sem qualquer lógica de redundância automatizada. A ausência de um sistema de comutação automática para a bomba reserva tornava o condomínio dependente da intervenção humana imediata em caso de falha. Essa limitação resultava em episódios de desabastecimento, especialmente quando a pane ocorria fora do horário comercial ou em momentos de pico, exigindo que a equipe de zeladoria realizasse manobras manuais de válvulas e religamento forçado, elevando o tempo de resposta e o risco operacional.

Identificou-se ainda a inexistência de proteções eficazes contra o funcionamento a seco. O quadro elétrico antigo, deteriorado e com componentes oxidados, não dispunha de relés de nível ou sensores de fluxo integrados à lógica de controle. Em cenários de falha no abastecimento da concessionária ou esvaziamento da cisterna, a bomba continuava operando sem fluido para refrigeração e lubrificação, condição crítica que provoca o superaquecimento instantâneo e a destruição das faces do selo mecânico. A dependência de monitoramento visual e auditivo para detectar anomalias (ruído, vibração) tornava a operação reativa e ineficiente.

O diagnóstico integrado dos aspectos energéticos, hidráulicos e operacionais evidenciou que o sistema antigo atingiu seu limite de vida útil técnica e econômica. A manutenção puramente corretiva tornou-se insustentável, justificando a modernização proposta neste estudo não apenas como uma medida de economia

de energia, mas como uma necessidade imperativa para garantir a segurança hídrica e a estabilidade operacional do condomínio.

Figura 4. Painel elétrico original do sistema de bombeamento, evidenciando desorganização e componentes obsoletos



Fonte: (Autores, 2025)

4.4. DESCRIÇÃO DETALHADA DA SOLUÇÃO DE MODERNIZAÇÃO

Com base na metodologia e no diagnóstico preliminar, foi proposta e executada a modernização do sistema de recalque por meio da substituição do conjunto motobomba centrífugo convencional de 10 CV por uma motobomba submersível multietapas de 5 CV, que passou a atuar como bomba principal do

sistema. A nova unidade foi instalada diretamente no interior do reservatório inferior (cisterna), eliminando a necessidade de tubulação de sucção externa e de válvula de pé, ao mesmo tempo em que se manteve a bomba centrífuga existente como unidade de reserva.

A escolha pela tecnologia submersível multietapas (tipo “caneta” ou “bullet”) baseou-se em sua curva característica de maior eficiência na faixa de operação requerida. Diferentemente das bombas monobloco de estágio único, esse tipo de equipamento utiliza múltiplos rotores em série para elevar a pressão progressivamente, permitindo atingir a Altura Manométrica Total (HMT) necessária com menor demanda de potência no eixo. Além disso, por operar submersa, o motor conta com arrefecimento garantido pelo próprio fluido bombeado, o que melhora a troca térmica e reduz de forma significativa o ruído aéreo percebido no ambiente da casa de máquinas em comparação à bomba centrífuga convencional.

A instalação hidráulica foi reconfigurada para o conceito de sucção afogada. Como a bomba permanece abaixo do nível da água na cisterna, as condições de NPSH disponível tornam-se mais favoráveis em relação ao arranjo anterior em sucção elevada, reduzindo de maneira significativa o risco de cavitação e eliminando a necessidade de escorva manual. A tubulação de recalque em aço galvanizado foi mantida, realizando-se apenas adequações pontuais na região da cisterna (conexões, válvulas e adaptações) para permitir a conexão da bomba submersa à linha existente e adequar o diâmetro de saída à vazão da nova motobomba.

No quesito elétrico e de automação, o antigo quadro de comando, que se encontrava em estado degradado, foi substituído por um painel novo, montado em caixa metálica com grau de proteção adequado ao ambiente. Esse painel abriga o circuito de acionamento da bomba submersa principal em partida direta e o circuito de acionamento estrela-triângulo da bomba centrífuga reserva, além dos dispositivos de proteção e comando associados. Entre os principais elementos instalados destacam-se:

Disjuntor termomagnético geral e disjuntores de derivação: responsáveis pela proteção contra curtos-circuitos e pelo seccionamento dos circuitos de força e comando;

Relés térmicos acoplados aos contatores: destinados à proteção contra sobrecargas prolongadas, desligando o motor quando a corrente excede o valor ajustado por tempo superior ao permitido;

Relé de falta e sequência de fase: dispositivo que monitora as três fases da alimentação, impedindo o acionamento dos motores em caso de ausência de fase ou inversão de rotação;

Sinalização e comando: chave seletora de três posições (Manual / Desligado / Automático) e sinaleiros LED para indicação de condições de operação e de falha, facilitando a inspeção visual pelo zelador e pela equipe de manutenção.

Essa nova arquitetura eletromecânica reduz a potência instalada de 10 CV para 5 CV na bomba principal, melhora as condições hidráulicas de sucção ao adotar a bomba submersa em regime afogado, diminui o nível de ruído na área técnica e eleva o nível de segurança operacional por meio de proteções elétricas e de um esquema básico de automação por nível. As estratégias de automação avançada e de redundância automática entre as bombas, descritas em seções posteriores deste trabalho, são apresentadas como propostas de melhoria futura, a serem implementadas em etapas subsequentes conforme a necessidade e a disponibilidade de investimento do condomínio.

4.4.1. Bomba submersível multietapas de 5 CV

Para a modernização, selecionou-se a motobomba submersível da série MB, modelo R11A-08 da Franklin Electric, equipada com 9 estágios e acoplada a um motor padrão NEMA de 5 CV. A escolha por este equipamento baseou-se em sua alta eficiência hidráulica e na curva de desempenho otimizada para a demanda do condomínio.

Diferente das bombas centrífugas monobloco, que dependem de sucção, este modelo multietapas opera totalmente submerso, garantindo refrigeração constante e eliminando o ruído aéreo.

A Tabela 2 apresenta as especificações técnicas detalhadas do equipamento instalado.

Tabela 2. Dados técnicos da bomba submersível implantada (5 CV)

Parâmetro	Especificação Técnica
Fabricante / Modelo	Franklin Electric / MB R11A-08
Tipo	Submersível Multietapas (9 estágios)
Potência Nominal	5,0 CV (3,7 kW)
Vazão Nominal (Q)	12,0 m³/h (12.000 L/h)
Altura Manométrica (H)	60 a 120 m.c.a
Motor	Elétrico Submerso (Acoplamento NEMA)
Tensão de Alimentação	Trifásica 220 V
Eficiência	Alta eficiência hidráulica

Fonte: (Catálogo técnico Franklin Electric, 2025)

A alteração da geometria de instalação para o modelo submerso eliminou a linha de sucção negativa, erradicando fisicamente os riscos de cavitação e perda de escorva, problemas crônicos diagnosticados no sistema anterior.

A Figura 5 ilustra a bomba submersa utilizada no sistema modernizado, conforme descrito no parágrafo anterior.

Figura 5. Bomba submersa Franklin Electric MB R11A-08 utilizada no sistema modernizado



Fonte: (Catálogo técnico Franklin Electric, 2025)

4.4.2. Painel de comando, automação e proteção

No sistema modernizado, a bomba submersa principal é acionada em partida direta, enquanto a bomba centrífuga reserva utiliza partida estrela-triângulo, seguindo os arranjos esquemáticos apresentados nas Figuras 2 e 3 da seção de fundamentação teórica.

O projeto do novo painel de comando priorizou a confiabilidade operacional e a facilidade de manutenção. A arquitetura elétrica foi concebida para abrigar o circuito de acionamento em partida direta da bomba submersa principal e o circuito de acionamento estrela-triângulo da bomba centrífuga reserva, além dos dispositivos de proteção e comando associados. Entre os principais componentes instalados, destacam-se:

Disjuntor termomagnético geral e disjuntores de derivação: responsáveis pela proteção contra curtos-circuitos e pelo seccionamento seletivo dos circuitos de força e de comando, dispensando o uso de fusíveis na alimentação dos motores.

Relés térmicos acoplados aos contadores de potência: encarregados da proteção contra sobrecargas prolongadas, desligando os motores quando a corrente ultrapassa, por determinado tempo, o valor ajustado, evitando o aquecimento excessivo dos enrolamentos.

Relé de falta e sequência de fase: componente de segurança que monitora a rede elétrica trifásica, impedindo o acionamento dos motores em caso de ausência de fase, assimetria acentuada ou inversão de rotação.

Contadores de potência: responsáveis pelo manobramento das bombas (ligar/desligar) de acordo com os sinais da lógica de controle, permitindo a integração com os dispositivos de proteção e com os comandos provenientes dos sensores de nível.

Relé de nível eletrônico: integrado a eletrodos instalados na cisterna, garante a proteção primária contra funcionamento a seco (*dry-running*), bloqueando automaticamente a bomba submersa quando o nível de água atinge um ponto crítico de segurança.

No contexto deste estudo, também foi analisada a possibilidade de complementar a proteção com o uso de uma chave de fluxo, apresentada como proposta de melhoria para etapa futura. Nesse arranjo, a chave de fluxo seria

instalada na tubulação de recalque como proteção redundante, com a função de confirmar a circulação efetiva de fluido após a partida da bomba, adicionando uma camada extra de segurança ao sistema.

O painel frontal conta com uma interface homem-máquina composta por sinaleiros LED (indicando condições como “Energizado”, “Bomba Ligada”, “Falha Térmica” e “Nível Crítico”) e por uma chave seletora de três posições (Manual / Desligado / Automático), facilitando a operação e o diagnóstico visual por parte do zelador e da equipe de manutenção.

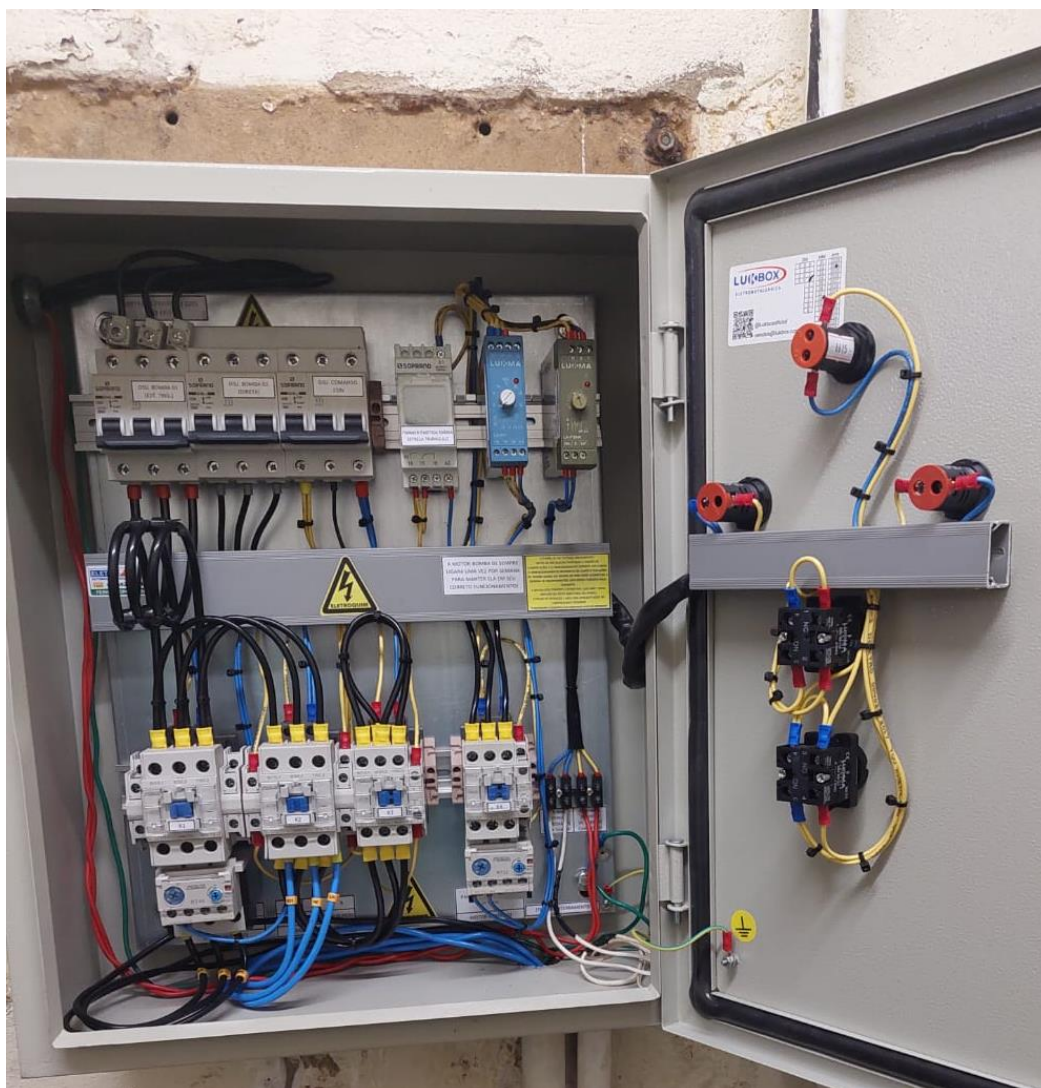
A lógica de controle atualmente implementada foi estruturada para garantir o intertravamento de segurança entre os reservatórios, evitando o acionamento da bomba em condições inadequadas. De forma simplificada, a sequência operacional do sistema modernizado ocorre conforme descrito a seguir:

O sensor de nível do reservatório superior (caixa d’água) detecta nível baixo e solicita abastecimento (fecha contato de comando). A lógica de comando verifica, simultaneamente, se há água suficiente no reservatório inferior (sinal do relé de nível da cisterna) e se as fases da rede elétrica estão corretas (sinal do relé de falta e sequência de fase). Estando todas as condições satisfeitas, o contator é energizado e a bomba submersível entra em operação. Ao atingir o nível máximo no reservatório superior, o comando desliga o contator, cessando o bombeamento imediatamente. Caso ocorra falta de água na cisterna durante o processo, falha de fase ou sobrecarga, o sistema desarma instantaneamente e ativa o sinaleiro de falha correspondente no painel, facilitando a identificação da anomalia.

No projeto de automação proposto neste trabalho, prevê-se que, em uma etapa posterior, essa lógica possa ser ampliada com a inclusão efetiva da chave de fluxo na linha de recalque. Nessa configuração futura, após o tempo de partida, a presença de fluxo seria verificada automaticamente, permitindo o desligamento da bomba e a sinalização de falha em caso de ausência de circulação de água. Essa melhoria tende a aumentar a segurança operacional e a proteção do conjunto motobomba, complementando os recursos já existentes no painel de comando.

Para fins de referência técnica, a Figura 6 abaixo apresenta o painel de comando e proteção do sistema de bombeamento modernizado, evidenciando os dispositivos de seccionamento, proteção, comando e sinalização descritos neste item, tal como instalados no ambiente técnico do condomínio.

Figura 6. Painel de comando e proteção do sistema de bombeamento modernizado.



Fonte: (Autores, 2025)

4.5. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE ATENDIMENTO DA DEMANDA

A validação operacional da modernização depende da garantia de que o novo sistema seja capaz de repor o volume de água consumido pelo condomínio com eficácia igual ou superior ao sistema anterior, sem comprometer a disponibilidade hídrica.

Para essa verificação, considera-se o reservatório superior com volume útil estimado em 20.000 litros (20 m³) e comparam-se os tempos teóricos de enchimento total para os dois cenários, utilizando a Equação 1:

$$t = \frac{V}{Q}$$

Onde:

t = tempo de enchimento (horas);

V = volume do reservatório (20.000 litros);

Q = vazão média da bomba (L/h).

Cenário 1: Sistema Antigo (10 CV) Conforme caracterizado na Tabela 1, a bomba centrífuga original operava com vazão estimada em 7.000 L/h devido ao desgaste e às perdas na sucção.

$$t_{\text{antigo}} = \frac{20.000}{7.000} \approx 2,86 \text{ horas (2h 51min)}$$

Cenário 2: Sistema Modernizado (5 CV) A nova bomba submersível selecionada (Tabela 2) possui vazão nominal de 12.000 L/h no ponto de operação.

$$t_{\text{novo}} = \frac{20.000}{12.000} \approx 1,67 \text{ horas (1h 40min)}$$

O comparativo demonstra que a bomba submersível de 5 CV é capaz de repor o volume total do reservatório em um tempo aproximadamente 40% menor do que o equipamento de 10 CV anterior.

Isso comprova tecnicamente que a redução de potência do motor pela metade não implicou em perda de capacidade produtiva. Pelo contrário, o sistema modernizado atende à demanda do condomínio com maior agilidade e com menor consumo de energia, validando a superioridade da tecnologia multietapas aplicada.

4.6. COMPARATIVO ENERGÉTICO DETALHADO

Conforme apresentado na metodologia (item 3.4), o consumo mensal estimado de energia é dado pela Equação 2:

$$E = P . t . d$$

Em que:

E = energia consumida (kWh/mês);

P = potência ativa aproximada do motor (kW);

t = tempo diário de funcionamento (h/dia);

d = número de dias no mês (considerado 30 dias).

Para a conversão de unidades, considerou-se a relação 1 CV = 0,736 kW.

Cenário 1: Sistema Antigo (Bomba Centrífuga 10 CV) No sistema original, a bomba operava com potência nominal de 10 CV. O tempo médio de operação registrado pelo histórico do condomínio era de 6 horas diárias.

$$P = 10cv . 0,736 = 7,36Kw$$

t = 6 horas/dia

d = 30 dias

E (antigo) = 7,36 kW x 6 h x 30 dias E (antigo) = 1.324,8 kWh/mês

Cenário 2: Sistema Modernizado (Bomba Submersível 5 CV) Com a instalação da bomba de 5 CV, mantendo-se a mesma vazão de atendimento (e consequentemente o mesmo tempo de operação para repor o reservatório), tem-se:

$$P = 5cv . 0,736 = 3,68kW$$

t = 6 horas/dia

d = 30 dias

E (novo) = 3,68 kW x 6 h x 30 dias E (novo) = 662,4 kWh/mês

Resultados da Eficiência Energética A substituição do equipamento resultou em uma redução direta de 50% no consumo de energia elétrica ativa destinada ao sistema de recalque. A Tabela 3 sumariza os valores obtidos e projeta a economia financeira, considerando uma tarifa média de energia estimada em R\$ 0,92/kWh (valor de referência para consumidores Grupo B na região, com impostos).

Tabela 3. Comparativo de consumo e custos mensais

Parâmetro	Sistema Antigo (10 CV)	Sistema Novo (5 CV)	Redução Mensal
Potência (kW)	7,36 kW	3,68 kW	- 3,68 kW
Consumo (kWh/mês)	1.324,8 kWh	662,4 kWh	- 662,4 kWh
Custo Estimado (R\$)	R\$ 1.218,81	R\$ 609,40	R\$ 609,41

Fonte: (Autores, 2025)

A análise dos dados comprova que a intervenção técnica atingiu o objetivo central do trabalho: reduzir o desperdício energético mantendo a operacionalidade do sistema. A economia mensal superior a 600 kWh representa um ganho ambiental e financeiro significativo para o condomínio.

4.6.1. Cenário base: 6 horas de funcionamento por dia

A análise energética do sistema baseou-se na Equação 2 (mencionada no item 4.6), utilizando como cenário padrão o tempo médio de operação de 6 horas diárias, conforme o histórico de consumo do condomínio.

A Tabela 4 resume o consumo mensal estimado para a bomba antiga (10 CV) e para a bomba modernizada (5 CV), evidenciando a redução de potência e o impacto direto no consumo ativo de energia elétrica.

Tabela 4. Consumo mensal estimado no cenário base

Sistema	Potência (kW)	Tempo diário (h)	Dias/mês	Consumo (kWh/mês)
Bomba centrífuga 10 CV	7,36	6	30	1.324,8
Bomba submersível 5 CV	3,68	6	30	662,4

Fonte: (Autores, 2025).

A substituição do equipamento resultou em uma redução percentual de consumo de 50%, confirmando o ganho de eficiência.

4.6.2. Análise de sensibilidade – variação do tempo de operação

Para avaliar o comportamento do novo sistema em diferentes condições de uso, foram calculados cenários adicionais de sensibilidade, simulando tanto um período de menor demanda (4 h/dia) quanto um período de maior demanda (8 h/dia).

Em todos os cenários avaliados, a intervenção técnica demonstrou que a redução de potência do conjunto motobomba resultou consistentemente na redução de aproximadamente metade do consumo de energia do sistema original, mantendo a capacidade de abastecimento do reservatório superior, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5. Consumo mensal em diferentes tempos de operação

Sistema	Tempo (h/dia)	Consumo (kWh/mês)
Bomba 10 CV (Antiga)	4	883,2
Bomba 5 CV (Nova)	4	441,6
Bomba 10 CV (Antiga)	8	1.766,4
Bomba 5 CV (Nova)	8	883,2

Fonte: (Autores, 2025).

A coerência dos resultados em diferentes regimes operacionais reforça a robustez técnica e econômica da modernização proposta.

4.6.3. Análise da eficiência global: ganho por redução do tempo de operação

Nas análises anteriores (itens 4.6.1 e 4.6.2), considerou-se apenas a redução da potência elétrica instalada, mantendo-se fixo o tempo de operação de 6 horas para fins de comparação direta de demanda. No entanto, conforme demonstrado no item 4.5, a maior vazão da bomba moderna permite que o reservatório seja reabastecido em menor tempo.

O sistema antigo, com vazão estimada em 7.000 L/h, operava cerca de 6 horas por dia para suprir a demanda do condomínio. Isso permite estimar o consumo diário de água (V_{dia}):

$$V_{\text{dia}} = 7.000 \times 6 = 42.000 \text{ litros/dia}$$

Considerando que a demanda de água dos moradores se mantém constante, calcula-se o novo tempo de funcionamento necessário para a bomba submersível suprir esse mesmo volume, utilizando sua vazão nominal de 12.000 L/h:

$$t_{\text{novo}} = \frac{42.000}{12.000} = 3,5 \text{ horas/dia}$$

Observa-se que, devido à eficiência hidráulica superior, o tempo de operação diário cai de 6 horas para apenas 3,5 horas. Aplicando este novo tempo à fórmula de consumo, obtém-se o cenário otimizado:

Potência Nova: 3,68 kW

Tempo Novo: 3,5 h/dia

Dias: 30

$$E_{\text{otimizado}} = 3,68 \times 3,5 \times 30 = 386,4 \text{ kWh/mês}$$

A Tabela 6 apresenta o comparativo final, confrontando o cenário antigo com o cenário otimizado, que considera tanto a eficiência elétrica quanto a hidráulica.

Tabela 6. Comparativo final de eficiência global (Elétrica + Hidráulica)

Parâmetro	Sistema Antigo	Sistema Novo Otimizado	Variação Real
Vazão de operação	7.000 L/h	12.000 L/h	+ 71%
Tempo de operação diário	6,0 horas	3,5 horas	- 41%
Consumo mensal (kWh)	1.324,8 kWh	386,4 kWh	- 70,8%
Custo mensal estimado (R\$)	R\$ 1.218,81	R\$ 355,49	- R\$ 863,32

Fonte: (Autores, 2025)

Os resultados demonstram que a economia real proporcionada pela modernização é superior à estimativa conservadora inicial. Ao considerar o desempenho global do conjunto, a redução no consumo de energia elétrica atinge a ordem de 70,8%, resultando em uma economia financeira mensal estimada superior a R\$ 860,00, conforme mostrado na Tabela 6.

4.7. ANÁLISE TÉCNICA DA AUTOMAÇÃO E DA PROTEÇÃO

A modernização do sistema não se limitou à troca da bomba, mas envolveu também uma readequação do painel de comando e proteção, com foco em aumentar a segurança elétrica e a confiabilidade operacional. Parte desses recursos já se encontra implementada na instalação, enquanto outros são apresentados neste trabalho como propostas de melhoria para etapas futuras. De forma síntese, podem ser destacados os seguintes aspectos:

Proteção contra funcionamento a seco: o relé de nível instalado no reservatório inferior impede que a bomba seja acionada sem água suficiente. Quando o nível atinge o ponto mínimo de segurança, o circuito de comando é bloqueado, evitando o funcionamento a seco (dry-running), o superaquecimento do conjunto motobomba e danos ao selo mecânico e aos componentes hidráulicos.

Proteções elétricas adequadas: o conjunto formado por disjuntores termomagnéticos, relés térmicos e relé de falta e sequência de fase proporciona proteção contra curtos-circuitos, sobrecargas prolongadas e anomalias na alimentação trifásica. Essas proteções reduzem significativamente o risco de queima do motor e contribuem para aumentar a vida útil do equipamento.

Operação mais segura e padronizada: a presença de sinalizações visuais (sinaleiros LED indicando condições de operação e de falha) e de uma chave seletora com posições Manual / Desligado / Automático torna a operação do sistema mais clara para o zelador e para a equipe de manutenção. Isso reduz a probabilidade de comandos indevidos, facilita o diagnóstico de falhas e organiza os procedimentos de intervenção.

Monitoramento de fluxo e redundância automática (propostos): como melhoria futura, este estudo propõe a adoção de uma chave de fluxo na linha de recalque da bomba submersível, associada a uma lógica de comutação automática para a bomba centrífuga de reserva. Nessa configuração, a ausência de fluxo após o comando de partida seria interpretada como possível falha da bomba principal, permitindo o desligamento automático do conjunto e, em etapa posterior de automação, a transferência do abastecimento para a bomba reserva. Embora ainda não implementado, esse recurso tende a elevar o nível de confiabilidade operacional e a reduzir a necessidade de intervenções corretivas emergenciais.

Em conjunto, os recursos de proteção já instalados e as melhorias de automação aqui propostas contribuem para um sistema de bombeamento mais seguro, eficiente e alinhado às boas práticas de engenharia, reforçando a importância da integração entre proteção elétrica, monitoramento de condições de operação e estratégias de redundância.

4.8. IMPACTO NA MANUTENÇÃO E NA CONFIABILIDADE

A substituição do conjunto de bombeamento original por uma bomba submersível multietapas de 5 CV teve impacto direto na rotina de manutenção e na confiabilidade do sistema. A nova configuração eliminou a linha de sucção sujeita a perda de escorva e entrada de ar, reduzindo significativamente a ocorrência de falhas associadas à dificuldade de recalque e à necessidade de intervenções frequentes para rearmar o sistema. O funcionamento em regime de sucção afogada também contribui para melhorar as condições de NPSH disponível, diminuindo o risco de cavitação e o desgaste prematuro dos componentes hidráulicos.

Do ponto de vista elétrico, a adoção de disjuntores termomagnéticos, relés térmicos, relé de falta e sequência de fase e relé de nível eletrônico já implementados no painel de comando trouxe maior proteção ao motor e aos cabos de alimentação. Essas proteções reduzem a probabilidade de queima do equipamento por sobrecarga, falta de fase ou funcionamento a seco, o que tende a diminuir chamados emergenciais de manutenção corretiva e prolongar a vida útil do conjunto motobomba. Além disso, a padronização dos dispositivos facilita a reposição de componentes e a intervenção por parte de equipes técnicas.

Em termos de confiabilidade operacional, a possibilidade de manter a bomba centrífuga antiga como unidade de reserva representa uma vantagem importante para o condomínio. Na configuração atual, essa bomba pode ser acionada manualmente em situações de contingência, permitindo que o abastecimento seja restabelecido mesmo em caso de falha da bomba submersível principal. Embora essa alternância ainda dependa de intervenção humana, ela já configura uma forma básica de redundância, reduzindo o risco de desabastecimento prolongado.

Como evolução dessa estratégia, o presente estudo propõe a implementação futura de uma lógica de redundância automatizada, baseada no monitoramento de fluxo e na comutação hidráulica por válvula solenoide. Uma vez

adotada, essa solução permitiria que o sistema identificasse automaticamente a falha da bomba principal e transferisse o recalque para a bomba reserva, sem necessidade de atuação imediata do operador. Tal recurso tem potencial para elevar ainda mais a confiabilidade do sistema, reduzir o tempo de parada em situações de falha e tornar a manutenção corretiva menos emergencial e mais planejável.

De modo geral, pode-se afirmar que a modernização realizada, aliada às melhorias de automação propostas, contribui para um ambiente de manutenção mais previsível e para um sistema de bombeamento com maior disponibilidade, alinhado às boas práticas de operação de instalações prediais.

4.8.1. Situação anterior

Na configuração original, o sistema apresentava manutenções corretivas frequentes, com média de cerca de duas intervenções por mês, principalmente para substituição de selos mecânicos, correção de problemas na válvula de pé e recuperação da escorva da bomba. Esses pontos de falha recorrentes exigiam atenção constante da equipe de manutenção e do zelador, gerando maior custo operacional e aumentando o risco de indisponibilidade do sistema. Em alguns episódios, as paradas inesperadas da bomba chegaram a comprometer temporariamente o abastecimento de água do condomínio, especialmente em horários de maior consumo, o que evidenciava a baixa confiabilidade do arranjo original.

4.8.2. Situação após a modernização

Após a modernização, observou-se uma redução drástica dos elementos sujeitos a falhas. A eliminação da válvula de pé e da linha de sucção longa suprimiu as fontes típicas de problemas, como a perda de escorva e a entrada de ar. A adoção da bomba submersa, operando com pressão positiva na entrada, mitigou a exposição à cavitação, garantindo um funcionamento hidráulico estável.

Com essa alteração física, o perfil da manutenção transformou-se. As atividades, antes focadas em correções emergenciais mecânicas, passaram a ser predominantemente preventivas e elétricas, concentradas na verificação de cabos, reaperto de conexões, testes de sensores de nível e inspeções visuais dos

dispositivos de proteção. Essa mudança permitiu programar inspeções com maior previsibilidade, reduzindo a urgência das intervenções e elevando a confiabilidade global do sistema, conforme detalhado no comparativo a seguir. Em etapa futura, quando forem implementados o monitoramento de fluxo e a redundância automática propostos neste estudo, espera-se que essas rotinas sejam ainda mais otimizadas.

Tabela 7. Comparativo qualitativo de manutenção.

Critério	Sistema Antigo (10 CV)	Sistema Novo (5 CV Submersível)
Tipo predominante	Corretiva (Emergencial)	Preventiva (Programada)
Frequência de intervenções	Alta (estimada em 2/mês)	Baixa (estimada em < 1/mês)
Componentes críticos	Válvula de pé, selos mecânicos, rolamentos, rotor.	Sensores de nível, cabos elétricos, relés de proteção.
Risco de parada inesperada	Elevado (perda de escorva)	Reduzido
Facilidade de diagnóstico	Baixa (dependente de inspeção física)	Maior (sinalização visual no painel)

Fonte: (Autores, 2025)

4.9. ANÁLISE ECONÔMICA DA MODERNIZAÇÃO

A análise econômica deste projeto tem como objetivo demonstrar a viabilidade financeira da modernização. Para isso, foram levantados os custos de investimento inicial (CAPEX) e comparados com a economia operacional (OPEX) gerada pela redução do consumo de energia e de manutenção.

Adicionalmente à redução na fatura de energia, projeta-se uma diminuição significativa nos custos de manutenção (OPEX). Considerando o histórico do condomínio, que demandava uma média estimada de R\$ 300,00 mensais em intervenções corretivas (como troca de selos, rolamentos e visitas técnicas), e estipulando um cenário preventivo de R\$ 150,00 mensais com o novo sistema, obtém-se uma economia indireta estimada em R\$ 150,00 mensais. Este valor será somado à economia de energia para compor o fluxo de caixa dos cenários a seguir.

4.9.1. Estimativa do investimento

A viabilidade da modernização fundamenta-se no levantamento dos custos iniciais de implementação (CAPEX). A Tabela 9 detalha a estimativa orçamentária para a aquisição dos equipamentos e a adequação da infraestrutura, totalizando um investimento aproximado de R\$ 6.500,00.

A motobomba submersível representa a maior parcela do orçamento (cerca de 58%), justificada pela tecnologia construtiva superior e pela alta eficiência hidráulica do modelo Franklin Electric selecionado. O painel de comando e as adequações elétricas e hidráulicas, somando R\$ 2.700,00, constituem investimentos essenciais para garantir a proteção elétrica, a automação segura e a correta integração do novo conjunto à rede existente.

Sob a ótica técnico-econômica, este aporte inicial não deve ser visto apenas como custo, mas como um investimento em eficiência e confiabilidade, cujo retorno se dá pela redução das despesas operacionais (energia e manutenção) ao longo da vida útil do sistema.

Tabela 9. Estimativa de investimento inicial

Item	Valor estimado (R\$)
Bomba submersível 5 CV	3.800,00
Painel de automação e proteção	1.500,00
Adequações elétricas e hidráulicas	1.200,00
Investimento total aproximado	6.500,00

Fonte: (Autores, 2025)

4.9.2. Cálculo do payback

O indicador de payback simples foi utilizado para determinar o tempo necessário para que a economia gerada cubra o investimento inicial. Foram analisados dois cenários para demonstrar a atratividade financeira do projeto.

No Cenário 1, considerou-se apenas a economia direta na fatura de energia elétrica (R\$ 629,28/mês), obtendo-se o seguinte retorno:

$$Payback_1 = \frac{\text{Investimento Total}}{\text{Economia Mensal (Energia)}} = \frac{6.500,00}{629,28} \approx 10,3 \text{ meses}$$

No Cenário 2, incorporou-se a redução estimada nos custos de manutenção corretiva, totalizando uma economia mensal de R\$ 779,28.

$$Payback_2 = \frac{\text{Investimento Total}}{\text{Economia Total}} = \frac{6.500,00}{779,28} \approx 8,3 \text{ meses}$$

A Tabela 10 sumariza os resultados. Observa-se que, mesmo no cenário mais conservador (apenas energia), o investimento é recuperado em menos de um ano, o que caracteriza a modernização como financeiramente viável e altamente vantajosa para o condomínio.

Tabela 10. Resumo dos cenários de retorno (Payback)

Cenário	Economia Mensal (R\$)	Payback Estimado
Apenas Energia	629,28	10,3 meses
Energia + Manutenção	779,28	8,3 meses

Fonte: (Autores, 2025)

4.9.3. Reavaliação do Payback no cenário otimizado

Diante do aumento significativo na economia mensal identificada na análise de eficiência global (Item 4.6.3), onde a redução do tempo de operação elevou a economia de energia para aproximadamente R\$ 863,32, o tempo de retorno do investimento torna-se ainda mais atrativo.

Para este cenário otimizado, recalcula-se o Payback considerando a nova economia de energia somada à redução de custos de manutenção (estimada em R\$ 150,00, conforme item 4.9).

Economia Energia Otimizada: R\$ 863,32

Economia Manutenção: R\$ 150,00

Economia Mensal Total: R\$ 1.013,32

Aplicando-se a fórmula do Payback simples:

$$\text{Payback}_{\text{real}} = \frac{6.500,00}{1.013,32} \approx 6,4 \text{ meses}$$

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação da metodologia proposta permitiu, em primeiro lugar, caracterizar o sistema de bombeamento original como energeticamente ineficiente e com baixa confiabilidade operacional. Verificou-se que a solução anterior demandava maior potência instalada e apresentava um elevado número de intervenções corretivas, o que comprometia tanto os custos de operação quanto a segurança hídrica do condomínio. Em contraste, a análise técnica demonstrou que a bomba submersível de 5 CV é capaz de atender à mesma altura manométrica e vazão do sistema original, porém utilizando aproximadamente metade da potência instalada, o que representa um ganho direto em termos de eficiência energética.

Os cálculos e estimativas efetuados comprovaram que, nos cenários de comparação direta, em que se mantém constante o tempo médio diário de operação das bombas, a substituição do conjunto motobomba resulta em uma redução aproximada de 50% no consumo de energia elétrica associado ao bombeamento. Quando se considera, adicionalmente, o ganho hidráulico proporcionado pela maior vazão da bomba submersível – que permite reduzir o tempo de funcionamento diário de 6 para cerca de 3,5 horas –, a economia torna-se ainda mais expressiva, atingindo uma redução global de aproximadamente 70,8% no consumo mensal de energia. Paralelamente, observaram-se melhorias significativas no nível de automação e nos recursos de proteção do sistema, com a adoção de monitoramento de nível e de proteções elétricas mais adequadas, além da proposta de inclusão futura de monitoramento de fluxo. Esse conjunto contribui para reduzir riscos de falhas graves, tais como funcionamento a seco e queima de motor. A modernização também se refletiu em um aumento da confiabilidade global do sistema, com a tendência de migração de um cenário de manutenção predominantemente corretiva para uma abordagem mais preventiva, baseada em inspeções periódicas e intervenções planejadas.

Do ponto de vista econômico, os resultados mostraram que o investimento em modernização apresenta um payback inferior a um ano quando

considerada apenas a economia de energia, e um retorno ainda mais rápido quando se incorpora a redução dos gastos com manutenção corretiva. Em síntese, os resultados obtidos indicam que a modernização do sistema de bombeamento do condomínio é tecnicamente adequada, energeticamente eficiente e economicamente atrativa, atendendo plenamente aos objetivos gerais e específicos estabelecidos na introdução deste Trabalho de Conclusão de Curso.

6. CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica e econômica da modernização do sistema de bombeamento predial de um condomínio residencial, por meio da substituição de uma bomba centrífuga de 10 CV por uma bomba submersível multietapas Franklin Electric MB R11A-08, de 5 CV, associada a um conjunto de automação e proteção elétrica mais adequado. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o objetivo foi plenamente alcançado.

A caracterização inicial do sistema existente evidenciou que o conjunto motobomba original apresentava baixa eficiência energética, elevada potência instalada e limitações hidráulicas decorrentes da sucção sujeita a escorva, cavitação e frequentes intervenções corretivas. O levantamento de dados permitiu identificar de maneira clara os principais gargalos operacionais, tanto no consumo de energia quanto na confiabilidade do abastecimento e nos custos de manutenção envolvidos.

A proposta de modernização contemplou a adoção de uma bomba submersível de 5 CV, selecionada com base na altura manométrica total e na vazão requerida. A nova configuração eliminou completamente a necessidade de sucção, reduziu pontos críticos suscetíveis a falhas e proporcionou operação mais estável. Paralelamente, a modernização do painel de comando elevou o nível de automação, incorporando recursos como sensor de nível mínimo, relés térmicos e disjuntores dimensionados conforme normas técnicas, aumentando significativamente a segurança e a confiabilidade do sistema. Além disso, este trabalho propôs, para etapa futura, a inclusão de uma chave de fluxo associada a uma lógica de redundância automática, com potencial de ampliar ainda mais a disponibilidade do sistema.

A análise comparativa demonstrou que, ao considerar a eficiência global (elétrica e hidráulica), obteve-se uma redução de 70,8% no consumo mensal de

energia elétrica associado ao bombeamento, sem prejuízo da capacidade de abastecimento. Do ponto de vista econômico, os cálculos mostraram que o investimento de R\$ 6.500,00 apresenta retorno estimado em 6,4 meses, quando somadas as economias de energia e a redução nos custos de manutenção corretiva.

O payback torna-se ainda mais favorável. Assim, a modernização se mostra financeiramente atrativa e compatível com a realidade condominial.

Do ponto de vista operacional, a substituição da bomba centrífuga convencional por uma bomba submersível multietapas trouxe ganhos expressivos de confiabilidade e redução de falhas. A eliminação de problemas de escorva, a menor exposição à cavitação e a implementação de proteções contra funcionamento a seco e ausência de fluxo contribuem para reduzir paradas não programadas e favorecer uma política de manutenção mais preventiva e planejada.

É importante reconhecer, contudo, as limitações deste estudo. As análises energéticas e econômicas foram realizadas com base em estimativas de tempo médio de funcionamento e em potência nominal dos equipamentos. Embora tais estimativas sejam adequadas para demonstrar tendências e viabilidade, a validação completa dos resultados depende do acompanhamento contínuo das faturas de energia e dos registros de manutenção após a implementação definitiva do sistema, bem como da observação de possíveis variações sazonais na demanda hídrica e tarifária.

Apesar dessas limitações, o trabalho atendeu plenamente aos objetivos específicos propostos: caracterizou o sistema original, apresentou a solução de modernização e automação básica, comparou o desempenho energético dos cenários, analisou os impactos na manutenção e avaliou de forma consistente a viabilidade econômico-financeira da intervenção. Os resultados obtidos evidenciam que a modernização contribui para uma operação mais eficiente, segura e sustentável, alinhada às boas práticas de engenharia elétrica e hidráulica.

Como sugestões para estudos futuros, recomenda-se o monitoramento sistemático dos dados reais de consumo de energia e de manutenção do sistema modernizado, visando comparar o desempenho prático com as estimativas apresentadas. Sugere-se, ainda, avaliar a aplicação de inversores de frequência em sistemas com demanda variável, bem como a possível integração com fontes de

energia renovável e sistemas avançados de supervisão e telemetria, ampliando os benefícios técnicos e econômicos observados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECWEB. Bombeamento de água em edifícios requer plano detalhado.

Materiais e Soluções – Projetos e Obras, 16 jun. 2017. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/bombeamento-de-agua-em-edificios-requer-plano-detalhado/15892> Acesso em: 17/10/2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5626:2020 – Sistemas prediais de água fria e água quente – projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.; FUPAI; EFFICIENTIA. Eficiência energética em sistemas de bombeamento. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2005. 272 p.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 220 p.

GOMES, Dalton. Eficiência energética em sistemas hidráulicos prediais. São Paulo: Ed. Técnica, 2009.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 341 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 315 p.

MELAZZO, José Júlio Moraes; PEREIRA, Fabiana Alves; SILVA, Sérgio Ferreira de Paula. Eficiência energética em sistemas de bombeamento: uma análise do controle de vazão de água entre inversor de frequência e válvula pneumática. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 17., 2019, Uberlândia. Anais [...]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

MÜLLER, Franz. *Energy performance of high-rise building pumping systems.* Berlin: Springer, 2021.

SANTOS, José Marcelo de Assis. Uma estratégia para automação predial utilizando tecnologias industriais. 2012. Monografia (Especialização em Automação, Controle e Robótica) – SENAI CIMATEC, Salvador, 2012.

SILVA, Rodrigo Guedes da. Automação predial: estudo de caso dos benefícios da implementação em um edifício empresarial. 2022. 27 f. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

SMITH, John. *Pumping system reliability in commercial buildings*. New York: Elsevier, 2017.

SOUZA, P. R.; ALMEIDA, F.; CARVALHO, L. Ineficiências em sistemas de bombeamento predial: análise de edificações multifamiliares. Revista Engenharia Predial, v. 9, n. 2, 2021.

WONG, T.; HO, C.; LEE, Y. *Optimization of building pumping systems for energy savings*. *Energy and Buildings*, v. 119, p. 1-12, 2016.

YIN, Robert. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 320 p.