

ALLISON LOPES ROCHA

Análise técnica e econômica da aplicação de cogeração ao aquecimento de piscinas

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de pós-graduação lato-sensu em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios

Orientador: Prof^o Dr. Daniel Setrak Sowmy

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Rocha, Allison Lopes

Análise técnica e econômica da aplicação de cogeração ao aquecimento de piscinas / A. L. Rocha -- São Paulo, 2021.

110 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Poli-Integra.

1.Cogeração 2.Microgeração 3.Aquecimento de piscinas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Poli-Integra II.t.

Título: Análise técnica e econômica da aplicação de cogeração ao aquecimento de piscinas.

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de pós-graduação lato-sensu em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Daniel Setrak Sowmy pelas orientações e apoio no desenvolvimento do trabalho.

Ao Sesc São Paulo pela disponibilidade dos dados e de acesso as dependências da Unidade Operacional do Sesc Consolação.

A minha esposa pela compreensão, carinho e apoio ao longo do período de elaboração deste trabalho.

RESUMO

A necessidade global por novas fontes de energia tem incentivado a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias com intuito de aproveitar ao máximo os recursos naturais disponíveis. A redução ou eliminação dos impactos causados pela transformação do recurso natural em energia também é fator importante na concepção de novos equipamentos e métodos de operação. Neste sentido, esta monografia analisa aspectos técnico, econômico e de aplicabilidade do sistema de aquecimento de água das piscinas por recuperação de calor através da cogeração de energia elétrica a gás natural como uma opção alternativa ao sistema misto existente em uma das Unidades Operacionais do Sesc São Paulo, composto por bombas de calor elétricas e aquecedores a gás natural. O estudo de caso propôs substituir as bombas de calor existentes por microturbina a gás natural para geração de energia elétrica e calor. A proposta apresentou viabilidade técnica, com um fator de utilização de energia de 72%. Apesar da viabilidade técnica, a proposta não apresentou viabilidade econômica, devido ao custo de investimento inicial e os valores da tarifa de gás natural praticados no segmento cogeração. A simulação inicial apresentou redução do custo anual de operação de 4%, em comparação ao custo de operação do sistema de aquecimento utilizado como referência, com o período para retorno do investimento muito superior ao proposto no estudo que foi de 10 anos. A segunda simulação proposta com valores reduzidos da tarifa de gás natural no segmento cogeração, apresentou redução do custo anual de operação de 49%, em comparação ao custo de operação do sistema de aquecimento utilizado como referência, com o período para retorno do investimento inferior ao proposto no estudo.

Palavras-chave: Cogeração. Microgeração. Microturbinas. Aquecimento de Piscinas.

ABSTRACT

The global need for new energy sources has encouraged research and development of new technologies in order to make the most of available natural resources. The reduction or elimination of impacts caused by the transformation of natural resources into energy is also an important factor in the design of new equipment and operating methods. In this sense, this monograph analyzes technical, economic and applicability aspects of the water heating system of swimming pools by heat recovery through the cogeneration of electric energy using natural gas as an alternative option to the mixed system existing in one of the Operating Units of Sesc São Paulo, consisting of electric heat pumps and natural gas heaters. The case study proposed replacing the existing heat pumps with a natural gas microturbine to generate electricity and heat. The proposal presented technical feasibility, with an energy utilization factor of 72%. Despite the technical feasibility, the proposal was not economically viable, due to the initial investment cost and the natural gas tariff values practiced in the cogeneration segment. The initial simulation showed a 4% reduction in the annual operating cost, compared to the operating cost of the heating system used as a reference, with the period for return on investment much longer than that proposed in the study, which was 10 years. The second simulation proposed with reduced values of the natural gas tariff in the cogeneration segment, presented a reduction in the annual operating cost of 49%, compared to the operating cost of the heating system used as a reference, with the period for return on investment lower than proposed in the study.

Keywords: Cogeneration. Microgeneration. Microturbines. Pool Heating.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Geração de Energia Elétrica Mundial por Fonte (%) - 1980..... | 15 |
| Figura 2 – Geração de Energia Elétrica Mundial por Fonte (%) - 2017..... | 16 |
| Figura 3 - Comparação da participação das fontes renováveis na produção de energia..... | 17 |
| Figura 4 - Sistema de aquecimento direto de água de piscina. | 19 |
| Figura 5 - Sistema de aquecimento misto ou indireto de água da piscina | 19 |
| Figura 6 – Histórico da tarifa média de fornecimento de energia elétrica no Brasil. | 21 |
| Figura 7 – Esquema de geração centralizada e geração distribuída..... | 23 |
| Figura 8 - Comparação do balanço energético entre um ciclo convencional e um sistema de cogeração..... | 30 |
| Figura 9 - Esquema de cogeração no ciclo <i>Topping</i> | 31 |
| Figura 10 - Esquema de cogeração no ciclo <i>Bottoming</i> | 32 |
| Figura 11 - Ciclo <i>Brayton</i> com turbina a gás..... | 33 |
| Figura 12 - Modelo de turbina a gás. | 34 |
| Figura 13 - Microturbina a gás | 35 |
| Figura 14 - Gráfico de projeção da capacidade instalada de micro e minigeração de distribuída..... | 36 |
| Figura 15 - Mapa da síntese do PDE 2030 | 37 |
| Figura 16 - Evolução da produção de gás natural 2010 - 2019..... | 40 |
| Figura 17 – Vista aérea da Unidade Sesc Consolação..... | 44 |
| Figura 18 - Tanque de recreação..... | 45 |
| Figura 19 - Tanque de aprendizagem..... | 46 |
| Figura 20 – Conjunto de carretel móvel e capa térmica da piscina de aprendizagem | 48 |
| Figura 21 – Gráfico comparativo das temperaturas d’água das piscinas de aprendizagem e recreação e a temperatura externa..... | 50 |
| Figura 22 - Gráfico comparativo das temperaturas d’água da piscina de recreação na abertura e fechamento e a temperatura externa | 52 |
| Figura 23 – Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem (cenário 01)..... | 55 |
| Figura 24 - Bomba de calor da piscina de aprendizagem | 56 |
| Figura 25 -Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação (cenário 01)..... | 58 |
| Figura 26 - Arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de recreação | 59 |
| Figura 27 - Aquecedor de passagem elétrico do sistema de aquecimento da piscina de recreação..... | 60 |
| Figura 28 - Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem (cenário 02)..... | 62 |
| Figura 29 - Arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem..... | 63 |
| Figura 30 - Arranjo físico dos aquecedores de passagem a gás natural do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem..... | 64 |
| Figura 31 - Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação (cenário 02)..... | 65 |
| Figura 32 - Arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de recreação | 66 |
| Figura 33 - Arranjo físico dos aquecedores de passagem a gás natural do sistema de aquecimento da piscina de recreação | 67 |
| Figura 34 - Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem (cenário 3) | 69 |

| | |
|--|-----|
| Figura 35 – Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação (cenário 03) . | 70 |
| Figura 36 - Gráfico comparativo de temperaturas d'água das piscinas, temperatura externa e consumo médio diário de energia no mês..... | 74 |
| Figura 37 – Esquema de funcionamento de uma bomba de calor | 78 |
| Figura 38 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes..... | 80 |
| Figura 39 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes..... | 81 |
| Figura 40 – Fluxo de operação dos trocadores de calor a placas brasadas..... | 81 |
| Figura 41 – Especificações técnicas do trocador de calor a placas brasadas..... | 82 |
| Figura 42 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes..... | 82 |
| Figura 43 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes..... | 83 |
| Figura 44 – Especificações técnicas do trocador de calor a placas brasadas..... | 83 |
| Figura 45 – Especificações técnicas das microturbinas..... | 84 |
| Figura 46 - Imagem da microturbina Capstone C65 | 86 |
| Figura 47 - Configuração da cogeração..... | 87 |
| Figura 48 – Comparativo de custo médio diário de operação do sistema de aquecimento | 100 |
| Figura 49 – Comparativo de custo médio diário para produção de energia térmica | 102 |
| Figura 50 – Comparativo de custo médio diário de operação do sistema de aquecimento | 102 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Função da potência elétrica instalada na central de cogeração e da respectiva fonte..... | 26 |
| Tabela 2 – Custo do gás natural no segmento cogeração | 41 |
| Tabela 3 – Custo do gás natural no segmento comercial..... | 42 |
| Tabela 4 – Histórico do consumo médio diário de energia elétrica..... | 72 |
| Tabela 5 - Proporção de utilização dos equipamentos de aquecimento..... | 75 |
| Tabela 6 – Produção média de energia térmica pelas bombas de calor..... | 76 |
| Tabela 7 – Produção média de energia térmica pelo aquecedor de passagem..... | 76 |
| Tabela 8 – Produção média total de energia térmica | 77 |
| Tabela 9 - Especificações técnicas dos equipamentos | 79 |
| Tabela 10 - Especificações técnicas dos equipamentos | 79 |
| Tabela 11 – Cálculo do rendimento das microturbinas | 85 |
| Tabela 12 - Balanço energético | 86 |
| Tabela 13 - Consumo médio diário de energia das bombas de calor e aquecedor de passagem elétricos | 89 |
| Tabela 14 – Produção de energia térmica média das bombas de calor e aquecedor de passagem elétricos | 89 |
| Tabela 15 – Consumo médio diário de energia elétrica das bombas de calor das piscinas | 90 |
| Tabela 16 – Consumo médio diário de gás natural dos aquecedores de passagem | 91 |
| Tabela 17 – Consumo médio diário de gás natural das microturbinas | 92 |
| Tabela 18 – Consumo médio diário de gás natural dos aquecedores de passagem | 93 |
| Tabela 19 – Produção média diária de energia elétrica | 93 |
| Tabela 20 - Cálculo dos custos de operação dos equipamentos de aquecimento do cenário 01..... | 94 |
| Tabela 21 - Cálculo dos custos de operação das bombas de calor elétricas do cenário 02..... | 95 |
| Tabela 22 - Cálculo dos custos de operação dos aquecedores de passagem a gás natural do cenário 02..... | 96 |
| Tabela 23 - Cálculo dos custos de operação das microturbinas – cenário 3..... | 97 |
| Tabela 24 - Cálculo dos custos de operação dos aquecedores de passagem a gás natural – cenário 3..... | 98 |
| Tabela 25 - Cálculo dos valores da energia elétrica produzida pelas microturbinas – cenário 3 | 99 |
| Tabela 26 - Cálculo dos custos anual para operação do sistema de aquecimento nos três cenários..... | 100 |
| Tabela 27 – Comparativo dos custos de investimento dos cenários 02 e 03 | 101 |
| Tabela 28 - Cálculo dos custos anual para operação do sistema de aquecimento nos três cenários..... | 103 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------------|---|
| ABGD | Associação Brasileira de Geração Distribuída |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABS | Resfriador de Líquido por Absorção |
| ACL | Ambiente de Contratação Livre |
| ACR | Ambiente de Contratação Regular |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| CC | Células de Combustível |
| CCEE | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica |
| CHP | Combined Heat and Power |
| COGEN | Associação da Indústria de Cogeração de Energia |
| COGEN Europe | The Europe Association For the Promotion of Cogeneration |
| COMGÁS | Companhia de Gás de São Paulo |
| COP | Coefficiente de Performance |
| COR | Círculo Orgânico de Rankine |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| FINA | Fédération Internationale de Natation |
| FP | Fora de Ponta |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GN | Gás Natural |
| GNL | Gás Natural Liquefeito |
| IEA | International Energy Agency |
| IRENA | International Renewable Energy Agency |
| LEED | Leadership in Energy and Environmental Design |

| | |
|----------|--|
| MCI | Motor a Combustão Interna |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| MMGD | Micro e Minigeração Distribuída |
| MS | Motores Stirling |
| NMG | Programa Novo Mercado de Gás |
| P | Ponta |
| PCI | Poder Calorífico Inferior |
| PDE 2029 | Plano Decenal de Expansão de Energia - 2029 |
| PDE 2030 | Plano Decenal de Expansão de Energia - 2030 |
| P.I. | Procedimento de Infraestrutura |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| RMSP | Região Metropolitana de São Paulo |
| REN21 | Renewable Energy Policy Network for the 21st Century |
| SESC | Serviço Social do Comércio |
| SIGA | Sistema de Informações de Geração da ANEEL |
| TG | Turbina a Gás |
| TV | Turbina a Vapor |
| UF | Unidade da Federação |
| UO | Unidade Operacional |
| μTG | Microturbina a Gás |

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

| | |
|---------------------|--|
| A | Ampere |
| °C | Graus Celsius |
| GWh | Gigawatt-hora |
| Hz | Hertz |
| kcal | Quilocaloria |
| kcal/h | Quilocaloria por hora |
| kgf/cm ² | Quilograma-força por centímetro quadrado |
| kW | Quilowatt |
| kWe | Quilowatt-elétrico |
| kWt | Quilowatt-térmico |
| kToe | Quilotoneladas de óleo equivalente |
| m ³ | Metro cúbico |
| m ² | Metro quadrado |
| MW | Megawatt |
| MJ | Megajoules |
| η_e | Rendimento Elétrico |
| η_t | Rendimento Térmico |
| η_{gt} | Rendimento Global |
| R\$ | Reais |
| TWh | Terawatt-hora |
| μ | Micro |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 1.1 OBJETIVO DO TRABALHO..... | 17 |
| 1.2 JUSTIFICATIVAS..... | 18 |
| 1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA..... | 21 |
| 2. MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA..... | 23 |
| 2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA COGERAÇÃO..... | 26 |
| 2.2. PRINCÍPIO DA COGERAÇÃO..... | 27 |
| 2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE COGERAÇÃO..... | 31 |
| 2.4. TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE COGERAÇÃO..... | 32 |
| 2.4.1. TURBINA A GÁS (TG)..... | 33 |
| 2.4.2. MICROTURBINA A GÁS (μ TG)..... | 34 |
| 3. MICRO E MINIGERAÇÃO NO BRASIL..... | 36 |
| 3.1. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA..... | 38 |
| 3.2. CENÁRIO DO GÁS NATURAL NO BRASIL..... | 40 |
| 4. ESTUDO DE CASO..... | 43 |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA..... | 43 |
| 4.2. CARACTERÍSTICAS DO PARQUE AQUÁTICO ESTUDADO..... | 43 |
| 4.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO..... | 53 |
| 4.4. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO –CENÁRIO 01..... | 54 |
| 4.5. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO –CENÁRIO 02..... | 60 |
| 4.6. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO –CENÁRIO 03..... | 67 |
| 5. ANÁLISE E COMPARAÇÕES..... | 71 |
| 5.1. PREMISSAS ADOTADAS..... | 71 |
| 5.2. DEMANDA ELÉTRICA..... | 71 |
| 5.3. DEMANDA TÉRMICA..... | 75 |
| 5.4. DADOS TÉCNICOS..... | 77 |

| | | |
|--------|----------------------------------|-----|
| 5.4.1. | CENÁRIO 01 | 77 |
| 5.4.2. | CENÁRIO 02 | 80 |
| 5.4.3. | CENÁRIO 03 | 83 |
| 5.5. | PREMISSAS DE CONSUMO | 88 |
| 5.5.1. | CENÁRIO 01 | 88 |
| 5.5.2. | CENÁRIO 02 | 90 |
| 5.5.3. | CENÁRIO 03 | 91 |
| 5.6. | ANÁLISE FINANCEIRA | 94 |
| 5.6.1. | CENÁRIO 01 | 94 |
| 5.6.2. | CENÁRIO 02 | 95 |
| 5.6.3. | CENÁRIO 03 | 97 |
| 6. | CONCLUSÃO | 104 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 106 |

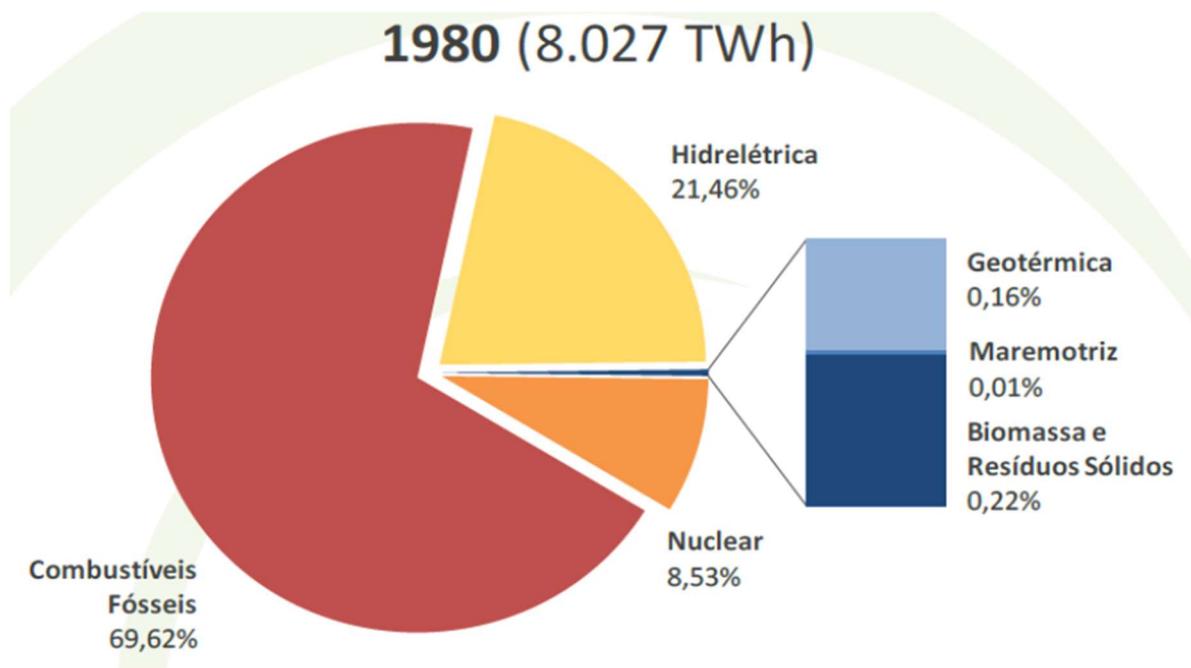
1. INTRODUÇÃO

A geração mundial de energia elétrica vem aumentando substancialmente e diversificando-se a longo dos anos. A produção mundial de energia utiliza como fonte principal os combustíveis fósseis, cuja produção e utilização geram poluentes que impactam diretamente o meio ambiente.

O uso de fontes alternativas aos combustíveis fósseis, como por exemplo, a solar, a eólica, a biomassa e a geotérmica, vem ganhando espaço na matriz energética, conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica – 2020, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ilustrado nos gráficos das figuras 1 e 2.

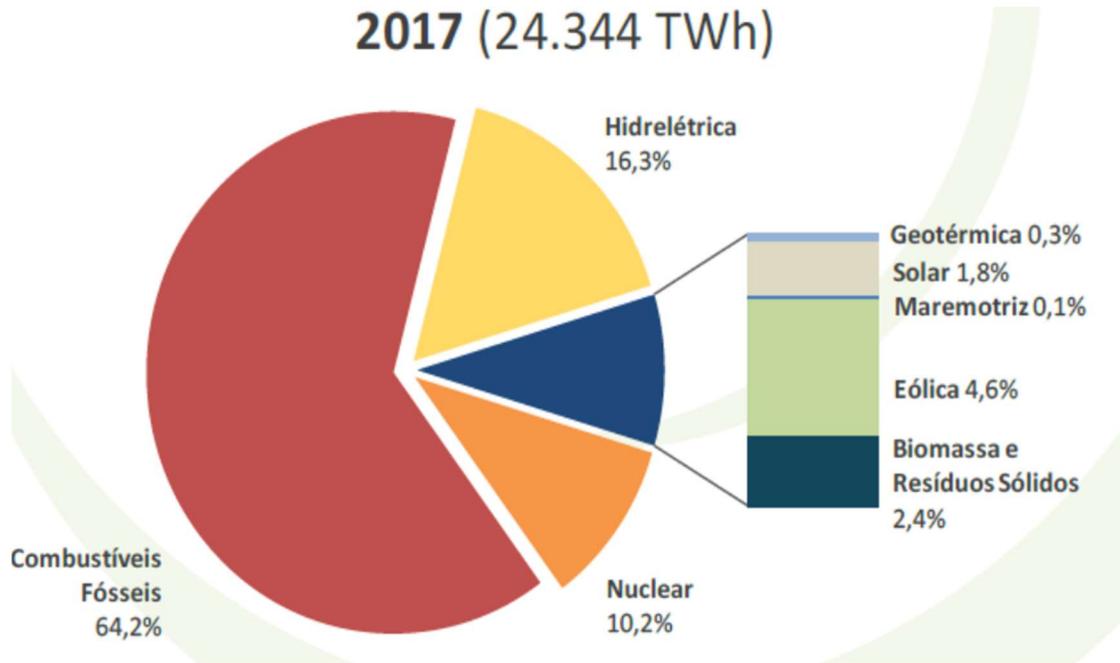
O crescimento das fontes alternativas acompanha o aumento da produção de energia no mundo, quando comparamos os gráficos do ano de 1980 e 2017 respectivamente.

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica Mundial por Fonte (%) - 1980.



Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica – 2020 (EPE, 2020).

Figura 2 – Geração de Energia Elétrica Mundial por Fonte (%) - 2017.



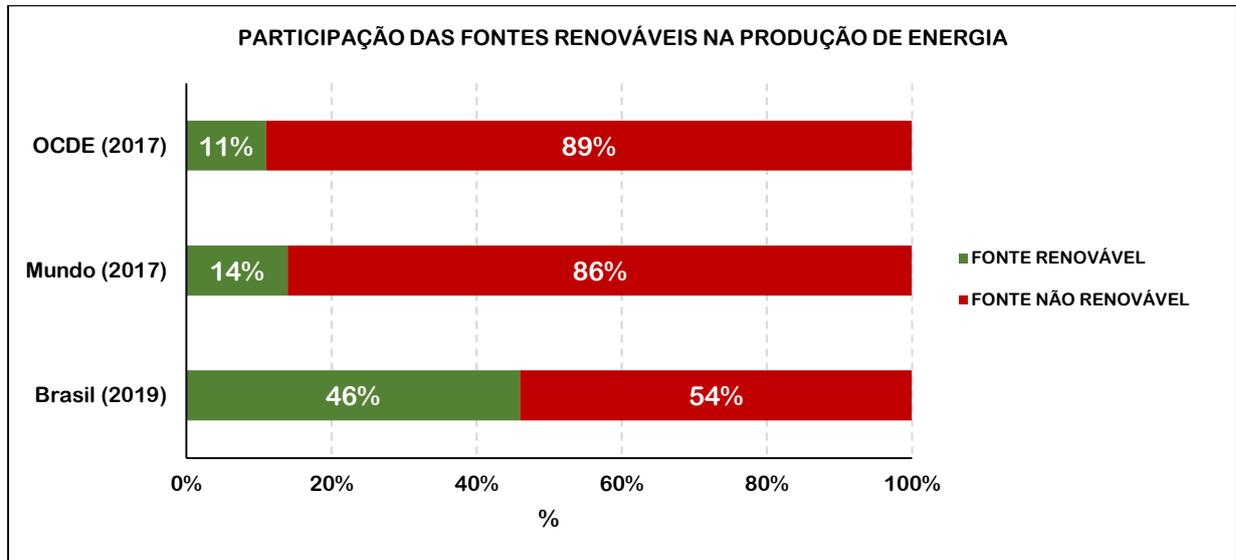
Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica – 2020 (EPE, 2020).

Apesar do aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética, o petróleo e seus derivados seguem como as maiores fontes, e neste sentido, a máxima eficiência no aproveitamento da fonte, agregada a redução das emissões de poluentes vem impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias.

Em seu Relatório do Mercado de Eletricidade, emitido em dezembro de 2020, a *International Energy Agency* (IEA), fez projeções de crescimento mundial de 7% na geração de eletricidade com base em fontes renováveis. As fontes renováveis estão no centro da transição para um sistema de energia menos intensivo em carbono, com incentivos e reduções de custos para geração.

Os processos de aquecimento e resfriamento são responsáveis por quase metade do consumo de energia, conforme indicadores publicados pela EPE, no Atlas da Eficiência Energética – Brasil | 2020. A dependência da utilização de fontes não renováveis para produção de grande parcela da energia global gerada (figura 3), impulsiona o desenvolvimento de tecnologias que contribuam para transição para o aquecimento e resfriamento de base renovável e eficiente.

Figura 3 - Comparação da participação das fontes renováveis na produção de energia.



Fonte: Atlas da Eficiência Energética – Brasil | 2020 (EPE, 2020)

No relatório de *status* global de energia renováveis 2018, desenvolvido em conjunto pela IEA, a *International Renewable Energy Agency* (IRENA), e pela *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (REN 21), descreve a infraestrutura e as políticas necessárias para transição focada em aquecimento e resfriamento com base renovável. A mudança requer o investimento em infraestrutura, como por exemplo, redes de gás, redes de aquecimento e resfriamento. Os investimentos dependem de políticas com ações que permitam e incentivem a implantação e integração das soluções, dentre as alternativas de transição para o aquecimento e resfriamento com base em baixas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e com maior eficiência, está a combinação de calor e energia ou também conhecida como *Combined Heat and Power* (CHP).

Em 2018 a IEA publicou relatório sobre mudança climática e energia limpa, em que orientou os países adotarem instrumentos e medidas par aumentar significativamente a participação de calor e energia combinados (CHP) na geração de eletricidade. A CHP representa uma série de tecnologias comprovadas, confiáveis e econômicas que já estão dando uma contribuição importante para atender à demanda global de calor e eletricidade.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

O principal objetivo deste trabalho é analisar tecnicamente e economicamente o uso de sistema de cogeração de energia com aproveitamento de calor para o aquecimento de piscinas.

A análise comparativa dos aspectos técnico, econômico e de aplicabilidade do sistema de aquecimento d'água misto para piscinas em uma Unidade Operacional (UO) do Sesc São Paulo, na qual, possui um parque aquático com piscinas aquecidas para recreação de adultos e outra para o público infantil.

O estudo apresentará três cenários possíveis, sendo que os dois primeiros já foram executados, porém, em épocas distintas.

1.2 JUSTIFICATIVAS

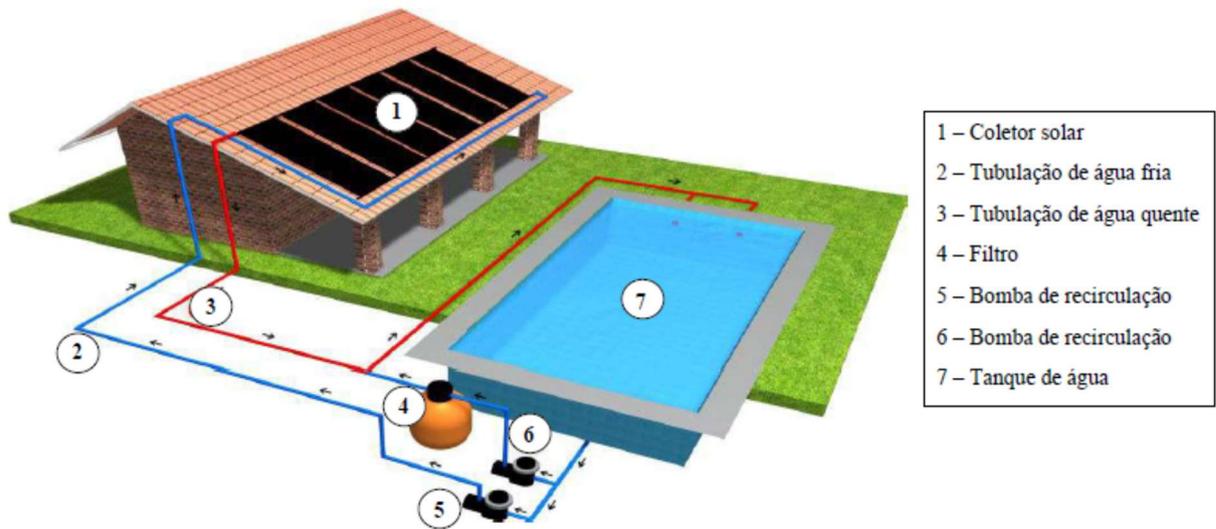
Os sistemas de aquecimento de piscinas estão cada vez mais sendo utilizados, não apenas em piscinas de clubes e academias, bem como em casas e condomínios residenciais. Independentemente da fonte, a demanda por energia para aquecimento da água das piscinas deve ser melhor compreendida com intuito de melhoria no desempenho energético (MALUF, C. A., 2010).

A *Fédération Internationale de Natation* (FINA) estabelece em suas regras, para as instalações destinadas as práticas aquáticas, que a temperatura da água deve ser de 25 °C a 28 °C, com intuito de fornecer o melhor ambiente possível para uso competitivo e treinamento.

A NBR 10818: Qualidade de Água de Piscina, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), orienta que a temperatura da água para piscinas aquecidas deve ficar entre 28 °C a 31 °C com limite de 34 °C.

A manutenção da temperatura da água das piscinas aquecidas requer o emprego de sistemas que propiciem a geração de energia térmica. Os sistemas podem ser compostos por equipamentos com aquecimento direto, a figura 4, ilustra um sistema com base em fonte solar, em que a captação da energia térmica através de coletor solar, é transmitida para água que circula pelo tanque da piscina. O sistema de aquecimento também pode ser composto por equipamentos que utilizem como fonte de energia os combustíveis fósseis ou energia elétrica.

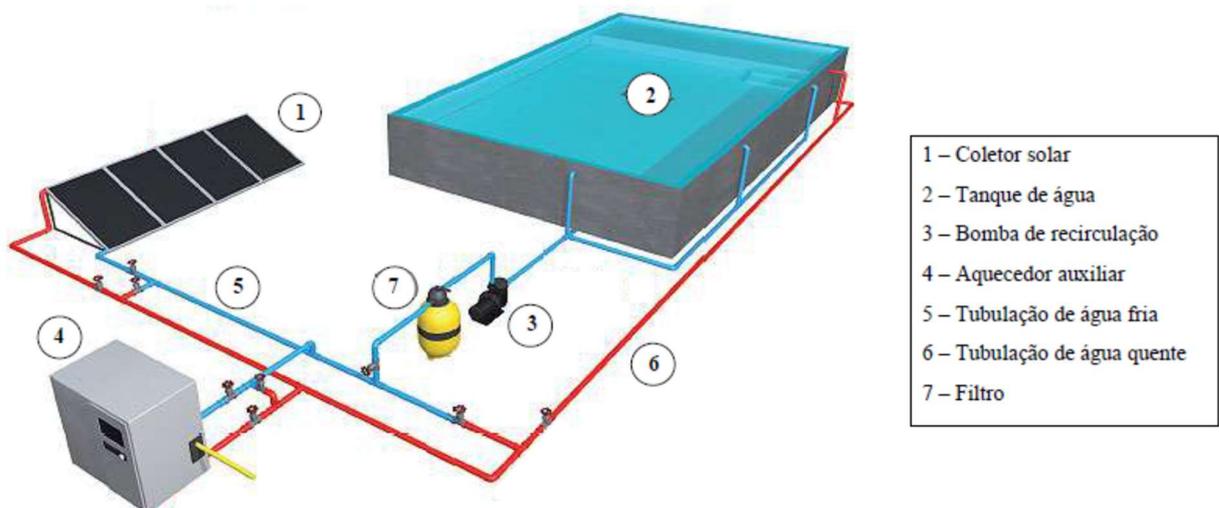
Figura 4 - Sistema de aquecimento direto de água de piscina.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Soletrol (2021).

Os sistemas de aquecimento mais complexos, baseados em uma fonte principal auxiliada por outra secundária, são utilizados para o aquecimento das piscinas dos clubes, academias e condomínios. O sistema de aquecimento pode ser misto e indireto, a figura 5, ilustra o sistema de aquecimento composto por coletor solar e um aquecedor auxiliar, neste exemplo, a fonte principal é a solar e a secundária um aquecedor que utiliza como fonte de energia, como por exemplo, o gás natural ou a energia elétrica.

Figura 5 - Sistema de aquecimento misto ou indireto de água da piscina



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor com base em TurboHot (2021).

A edição nº 145 da Revista da Associação Nacional das Empresas e Profissionais de Piscinas (ANAPP) ilustra os tipos de sistema de aquecimento para água das piscinas de parques aquáticos, clubes e academias e ressalta que o aquecimento da água das piscinas utiliza grande quantidade de energia térmica, que será produzida e transferida através de equipamentos apropriados. O desempenho energético dos sistemas de aquecimento é influenciado por vários fatores, dentre eles o custo da fonte para produção da energia térmica.

O sistema de aquecimento de água de piscina pode ser projetado para incorporar uma ou mais tecnologias, as principais utilizadas são os painéis solares, os aquecedores elétricos, as bombas de calor elétricas e os aquecedores a gás natural.

A publicação ainda ressalta que, além da disponibilidade da fonte para produção da energia térmica, os aspectos ligados a operação, a manutenção e espaço físico devem ser considerados na utilização de determinada tecnologia. As fontes de energia para geração de energia térmica, na maioria dos equipamentos utilizados nos sistemas de aquecimento, são a energia elétrica e o gás natural.

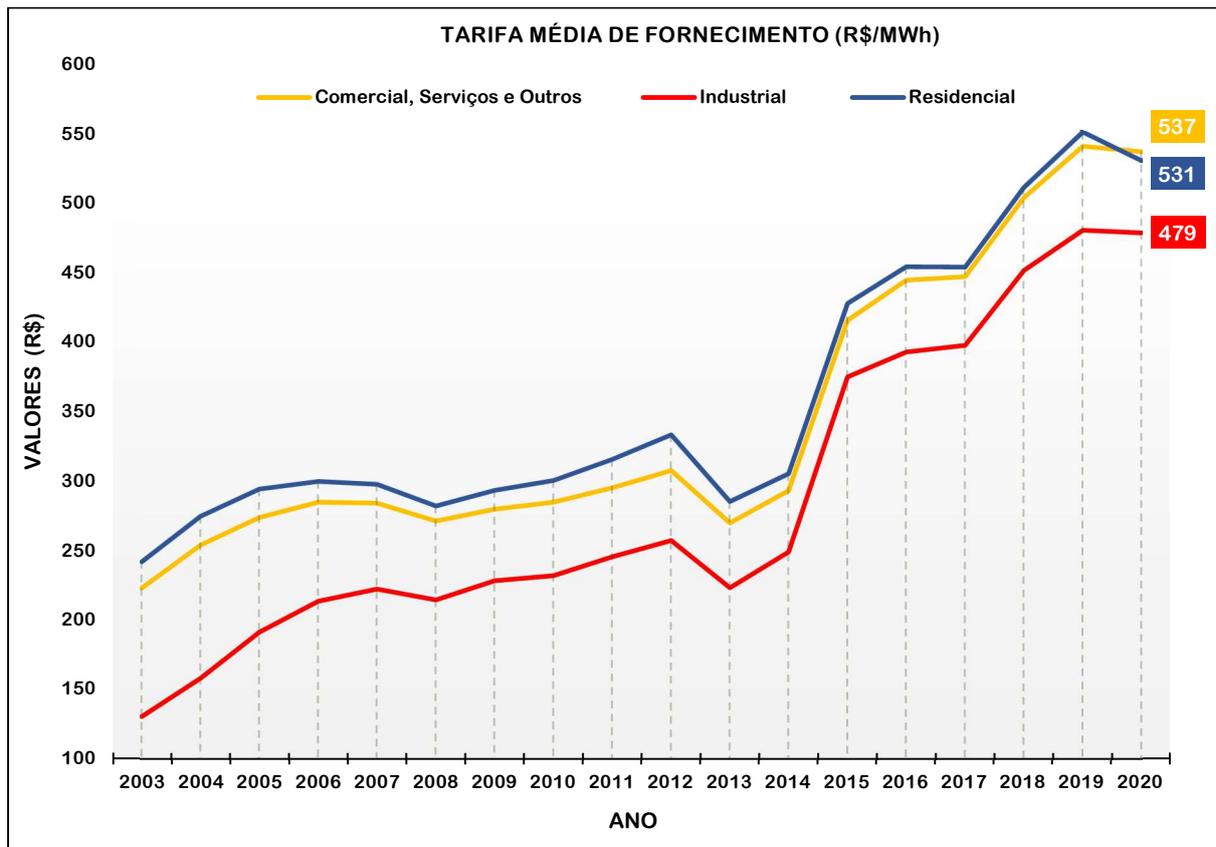
O aumento crescente da tarifa média cobrada pelas concessionárias de energia elétrica, impacta diretamente no custo de operação do sistema. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabelece critérios diferenciados para tarifação do consumo de energia elétrica dos consumidores dos setores da indústria, do comércio e residencial.

O gráfico da figura 6, ilustra o histórico da tarifa média do MWh para os três setores, os setores do comércio e residencial apresentam custo muito próximo. O custo da tarifa para o setor industrial é bem menor que os demais, principalmente em função do subsídio cruzado, ou seja, a tarifa mais elevada para os setores do comércio e residencial propicia a redução do custo da tarifa da indústria.

Outro fator para justificar a diferença entre as tarifas, é o fato de o custo de produção da energia elétrica para o setor industrial, ser menor, considerando que os consumidores deste setor adquirem energia a uma voltagem muito elevada e exigem menos transformadores, rebaixamento e rede de distribuição.

No ano de 2020, o custo médio do MWh para indústria foi de R\$ 479, de R\$ 531 para o setor residencial e de R\$ 537 para o setor de comércio, serviços e outros, evidenciando a diferença entre os respectivos setores.

Figura 6 – Histórico da tarifa média de fornecimento de energia elétrica no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Sistema de Informações de Geração ANEEL (ANEEL,2021).

O Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), apresenta um total de 9.202 empreendimentos em operação produzindo energia elétrica, sendo a origem hídrica a principal matriz energética do Brasil.

A principal matriz está diretamente relacionada a captação de água dos reservatórios, que dependem basicamente do volume de chuvas nas respectivas bacias hidrográficas.

Neste sentido, o estudo da tecnologia de microgeração de energia elétrica a gás natural pode ir de encontro as necessidades, pois o processo de transformação da fonte, fornece energia elétrica constante e o subproduto gerado, neste caso o calor, poderá ser aplicado no aquecimento de um fluido, como por exemplo, a água das piscinas.

1.3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa contará com a pesquisa bibliográfica, o estudo de caso com a adoção da tecnologia de cogeração de energia elétrica a gás natural para o aquecimento da água das piscinas em uma instalação existente.

No estudo de caso serão comparados os dados de consumo e operação de três cenários para o sistema de aquecimento de água de piscinas. O estudo do primeiro cenário será baseado em dados energéticos e financeiros reais produzidos e fornecidos pela UO. No segundo cenário, os dados energéticos e financeiros serão estimados com base nas informações técnicas dos catálogos disponibilizados pelos fabricantes de aquecedores de passagem a gás natural e bombas de calor elétricas. O terceiro cenário será a simulação da aplicação da cogeração para produção de energia elétrica e o aproveitamento do calor residual para aquecimento d'água das piscinas. Assim como no cenário dois, os dados energéticos e financeiros serão estimados com base nas informações técnicas fornecidas pelos fabricantes de microturbinas a gás natural disponíveis no mercado.

O trabalho está dividido em seis capítulos com os títulos de introdução, geração distribuída, cogeração no Brasil, estudo de caso, análise e comparações e conclusão.

O primeiro capítulo descreve sobre o objetivo, as justificativas e a metodologia de pesquisa do trabalho, neste sentido, o texto apresenta os principais fatores que preponderaram na escolha do assunto estudado.

O segundo capítulo discorre sobre a geração distribuída e contextualiza a cogeração, apresentando os princípios, a classificação dos sistemas de cogeração e as tecnologias disponíveis para geração de energia elétrica através de turbinas e microturbinas a gás natural.

No terceiro capítulo, o cenário nacional de cogeração e as projeções são apresentadas, bem como as legislações vigentes que regem a modalidade. O gás natural no Brasil também é destacado neste capítulo com a apresentação de dados de projeção para produção e consumo do combustível fóssil.

A apresentação do estudo de caso está no capítulo quatro, com as descrições sobre a caracterização da empresa a ser estudada, o detalhamento das instalações de aquecimento de água das piscinas, as suas características construtivas existentes e a demanda de energia necessária para operação dos sistemas. No quinto e último capítulo são apresentados os cálculos, os comparativos e os resultados obtidos no emprego da tecnologia de cogeração de energia elétrica a gás natural para o aquecimento da água das piscinas.

As conclusões sobre o estudo e as preposições para futuros estudos são o escopo do sexto capítulo e encerram este trabalho de monografia.

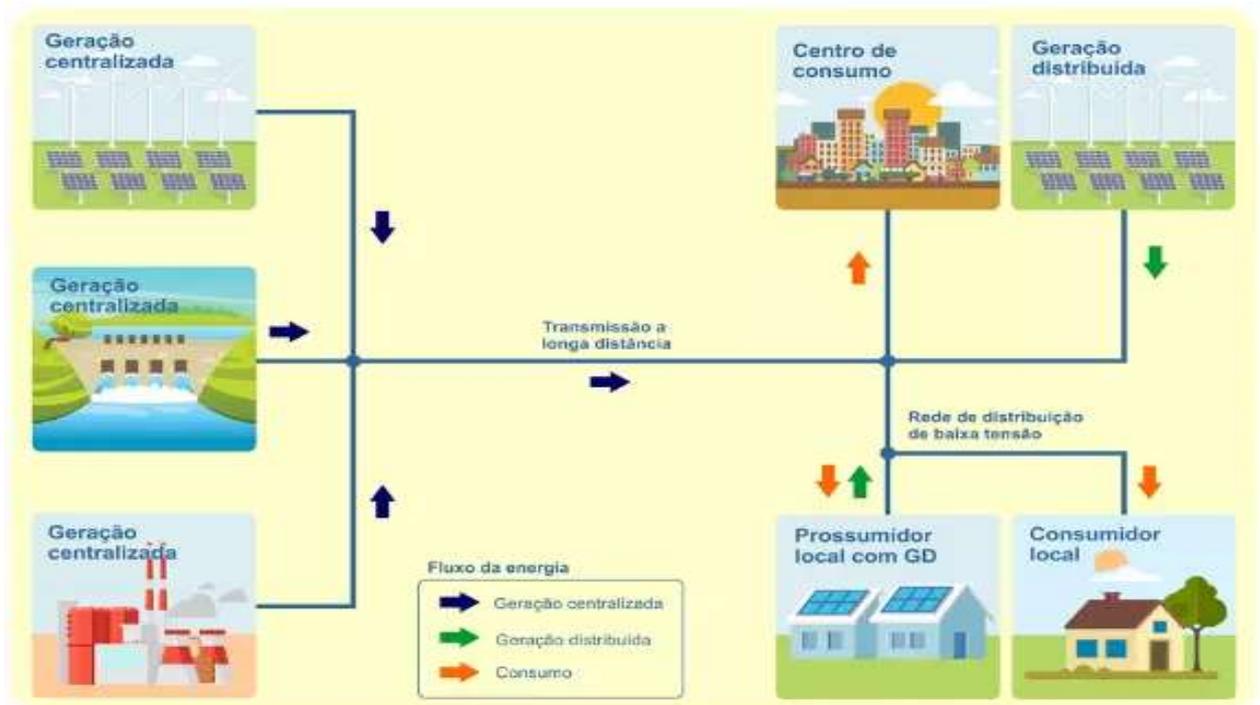
2. MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em seu caderno temático Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica, a ANEEL caracteriza a geração distribuída pela instalação de geradores de pequeno porte, normalmente a partir de fontes renováveis ou mesmo utilizando combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo de energia elétrica.

A geração hidrelétrica seria a melhor solução considerando o aspecto do aproveitamento dos recursos naturais, sustentabilidade e custo de geração, porém, as barreiras impedem este crescimento. O fato de a produção ficar longe dos grandes centros consumidores, os impactos ambientais gerados pelo represamento de grandes áreas, a necessidade de grande extensão de sistema de transmissão com alto custo de manutenção e períodos secos em que a demanda precisa ser complementada com geração termelétrica, impactam no investimento de geração hidrelétrica (ANDREOS, R., 2013).

A figura 7, ilustra de modo simplificado o percurso da energia elétrica partindo da geração até o consumidor final, considerando o esquema de geração centralizada ou convencional e o esquema de geração distribuída.

Figura 7 – Esquema de geração centralizada e geração distribuída



Fonte: Canal Solar (2021).

A Resolução Normativa nº 687/2015, da ANEEL, denomina microgeração distribuída a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW) e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica conectada na rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras. A minigeração distribuída é aquela em que a central geradora de energia elétrica, possui potência instalada acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica conectada na rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras.

Na modalidade micro e minigeração distribuída, a regulação permite a compensação de energia elétrica, sistema no qual, a energia ativa injetada na rede por unidade consumidora é cedida por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa, ou seja, se a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida no mesmo período, o excedente de energia é injetada na rede e o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes.

A microgeração ou minigeração distribuída também pode ser aplicada em empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, como por exemplo, condomínios residenciais e comerciais. No caso de unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, como por exemplo, matriz e filial, as regras de microgeração ou minigeração distribuídas também são aplicáveis, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora, e para utilização dos créditos oriundos do excedente de produção a ANEEL denominou “autoconsumo remoto”.

A Resolução Normativa também instituiu a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

Atualmente o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para rede de distribuição de sua localidade.

Para atender a modalidade de cogeração qualificada, a central termelétrica cogeneradora deve seguir os requisitos definidos na resolução, segundo aspectos de racionalidade energética, para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração.

O preenchimento dos requisitos mínimos de racionalidade energética deve atender as inequações a seguir:

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (1.1)$$

$$\left(\frac{Et}{Ef} \right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc \% \quad (1.2)$$

Onde:

Energia da fonte (Ef): energia recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI).

Energia da utilidade eletromecânica (Ee): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central.

Energia da utilidade calor (Et): energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central.

Fator de cogeração (Fc %): parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual aproxima-se do conceito de Eficiência Exergética.

Fator de ponderação (X): parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

Eficiência Energética: índice que demonstra o quanto da energia da fonte foi convertida em utilidade eletromecânica e utilidade calor.

Eficiência Exergética: índice que demonstra o quanto da energia da fonte foi convertida em utilidades equivalentes à eletromecânica.

Os valores de “X” e “Fc” das fórmulas deverão ser aplicados em função da potência elétrica instalada na central de cogeração e da respectiva fonte, obedecida a seguinte tabela:

Tabela 1 - Função da potência elétrica instalada na central de cogeração e da respectiva fonte

| FONTE / POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA | X | Fc % |
|--|----------|-------------|
| DERIVADOS DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E CARVÃO | | |
| Até 5 MW | 2,14 | 41 |
| Acima de 5 MW e até 20 MW | 2,13 | 44 |
| Acima de 20 MW | 2,00 | 50 |
| DEMAIS COMBUSTÍVEIS | | |
| Até 5 MW | 2,50 | 32 |
| Acima de 5 MW e até 20 MW | 2,14 | 37 |
| Acima de 20 MW | 1,88 | 42 |
| CALOR RECUPERADO DE PROCESSO | | |
| Até 5 MW | 2,60 | 25 |
| Acima de 5 MW e até 20 MW | 2,17 | 30 |
| Acima de 20 MW | 1,86 | 35 |

Fonte: Adaptado pelo autor com base na RN nº 482/2012 (ANEEL).

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA COGERAÇÃO

Em comunicado à imprensa, publicado em outubro/2020, a *The Europe Association For the Promotion of Cogeneration* (COGEN Europe), reforça o compromisso do continente europeu de construir uma sociedade livre de carbono até 2050, através da eficiência energética, integração de sistemas e energias renováveis. No cenário a ser moldado, a cogeração (CHP) é um capacitor primário para alcançar a neutralidade de carbono na Europa até 2050, nos sistemas integrados de calor e energia. A materialização do potencial custo-benefício da cogeração em diversos setores, irá trazer benefícios importantes aos consumidores finais, ou seja, a cogeração tem um papel fundamental na busca pelos objetivos de reduzir a emissão de GEE produzidos atualmente.

Segundo a COGEN Europe, atualmente a cogeração é responsável por 11% da eletricidade e 15% do calor produzido no continente europeu, sendo que alguns países os índices chegam a 32%.

De acordo com a Associação da Indústria de Cogeração de Energia (COGEN), em diversos setores de atividade em que a demanda por energia elétrica e térmica seja simultânea, os processos de cogeração podem ser aplicados, como por exemplo, no setor industrial com a produção de vapor e aquecimento direto. No setor de comércio e serviços com aplicação em sistema de ar-condicionado central e aquecimento de água e, no setor sucroenergético, com a produção de bioeletricidade. O crescente mercado de equipamentos e de tecnologias adequadas para a geração distribuída, atraíram muitos investimentos em pesquisa e surgiram muitos fabricantes que atualmente oferecem tecnologias competitivas para a implantação dos sistemas de cogeração. A implantação e difusão da cogeração é uma das alternativas para produção de energia mais limpa e com maior eficiência.

O produto de energia térmica da cogeração pode ser usado para aquecimento de água quente sanitária, aquecimento de ambientes, aquecimento de piscinas e spas, processos de lavanderia e resfriamento por absorção (DINÇER E ZAMFIRESCU, 2012).

2.2. PRINCÍPIO DA COGERAÇÃO

A cogeração refere-se à produção simultânea de eletricidade e energia térmica de um único combustível fonte, a produção simultânea é mais eficiente do que produzir por sistema de energia separados, reduzindo o consumo de combustível e das emissões de GEE na atmosfera. A cogeração ou calor e energia combinados (CHP) normalmente produz energia mecânica que pode ser usada para acionar um alternador e produzir eletricidade ou girar equipamentos como motor, compressor, bomba ou ventilador. A energia térmica pode ser usada para aplicações diretas de processo ou para produzir indiretamente vapor, água quente, ar quente ou água gelada para resfriamento (BHATIA, 2014).

A cogeração tem como premissa obter ao máximo o aproveitamento da energia contida na fonte primária, utilizando o combustível de maneira mais eficiente e racional, com isso é possível preservar as reservas energéticas, aumentar a eficiência do processo com impactos na redução dos custos com geração de energia. A cogeração pode ser aplicada em plantas que exigem a demanda por energia elétrica e térmica simultaneamente (ANDREOS, 2013).

Ao considerar o Fator de Utilização de Energia (FUE) para definir o percentual de energia do combustível utilizado na produção de energia elétrica ou mecânica mais a energia térmica útil, a intenção é desenvolver uma configuração de cogeração que se aproxime do ideal, ou seja, neste caso $FUE = 100\%$, com o máximo de aproveitamento térmico (MARTENS, 1998).

Nos projetos de cogeração, o fator de utilização de energia é utilizado para verificar a eficiência da planta, conforme equação 2.1, a seguir:

$$FUE = \frac{Qu + W}{MComb \times PCI} \quad (2.1)$$

Onde:

FUE – Fator de utilização de energia.

Qu - Potência térmica gerada pelo sistema de cogeração.

W – Potência elétrica gerada pelo sistema de cogeração.

MComb – Massa do combustível fornecida ao sistema de cogeração.

PCI – Poder calorífico inferior.

Através das equações para obtenção dos rendimentos elétrico, térmico e global, é possível determinar a produção de energia da configuração da cogeração, conforme equações 2.2, 2.3 e 2.4.

A equação 2.2 refere-se ao cálculo do rendimento elétrico:

$$\eta_e = \frac{E}{m \times PCI} \quad (2.2)$$

A equação 2.3 refere-se ao cálculo do rendimento térmico:

$$\eta_t = \frac{Q}{m \times PCI} \quad (2.3)$$

A equação 2.4 refere-se ao cálculo do rendimento global:

$$\eta_G = \frac{E + Q}{m \times PCI} \quad (2.4)$$

Onde:

η_e – Rendimento elétrico.

η_t – Rendimento térmico.

η_G – Rendimento global.

E - Energia elétrica gerada.

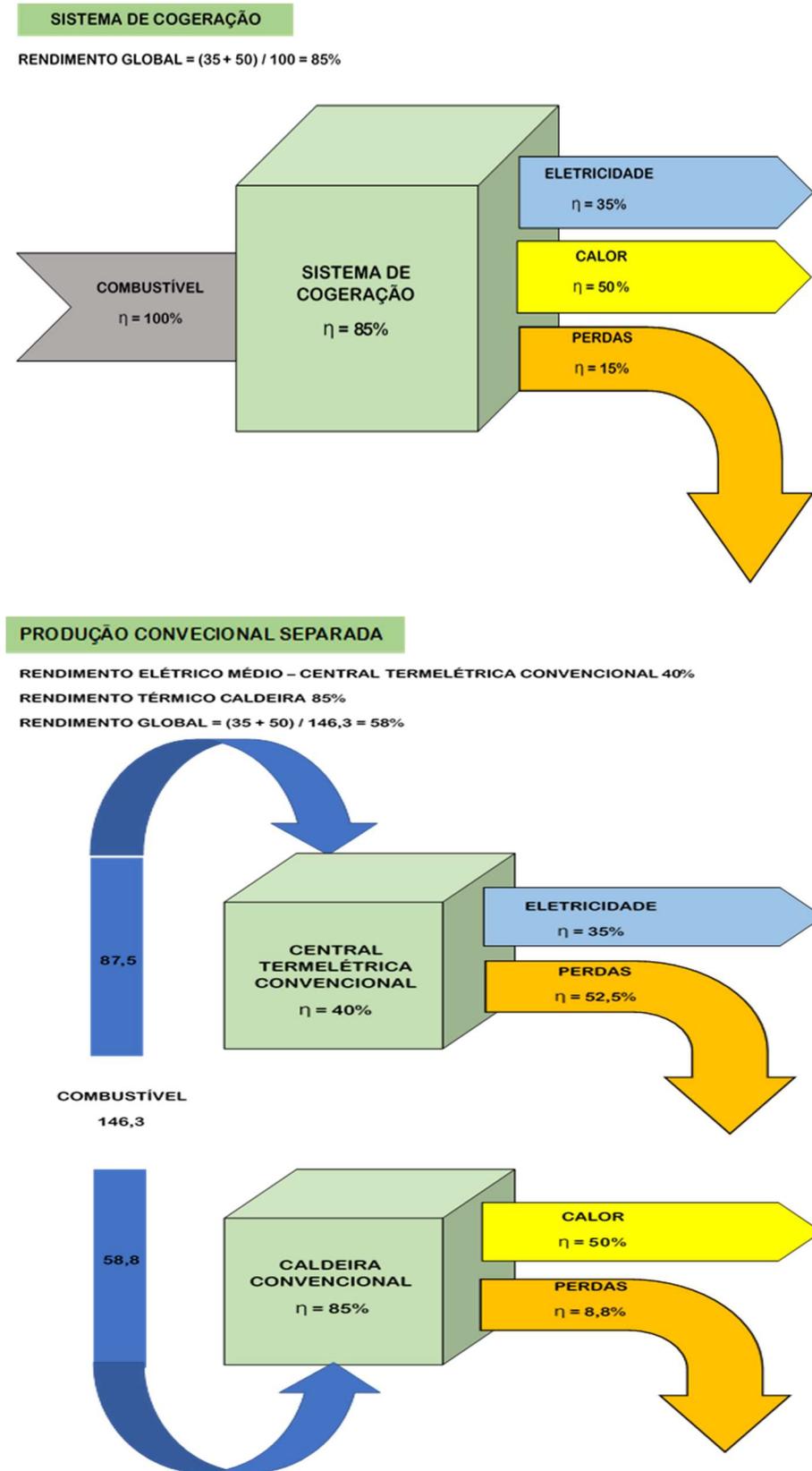
Q – Energia térmica gerada.

M – Vazão mássica de combustível.

PCI – Poder calorífico inferior.

A eficiência geral do uso de energia no modelo de cogeração pode chegar a 85% em alguns casos. A figura 8, ilustra o fluxo de energia no modelo convencional e no modelo de cogeração em uma planta industrial. Na planta industrial é preciso 35 unidades de energia elétrica e 50 unidades de energia térmica. No modelo de cogeração são necessárias 100 unidades de combustível para o processo de geração de energia elétrica e térmica, já que o sistema possui eficiência de 85%. No modelo de produção convencional são necessárias 146 unidades de combustível, levando-se em que o sistema possui 58% de eficiência. As perdas no sistema convencional foram de 61 unidades e no modelo de cogeração foram reduzidas para 15 unidades (BHATIA, 2014).

Figura 8 - Comparação do balanço energético entre um ciclo convencional e um sistema de cogeração



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Bathia (2014)

A cogeração é frequentemente associada à combustão de combustíveis fósseis, mas também pode ser realizada usando outras fontes de energia térmica, de energia renovável e queima de resíduos. A tendência recentemente tem sido usar combustíveis mais limpos, como o gás natural para cogeração (DINCER E ZAMFIRESCU, 2012).

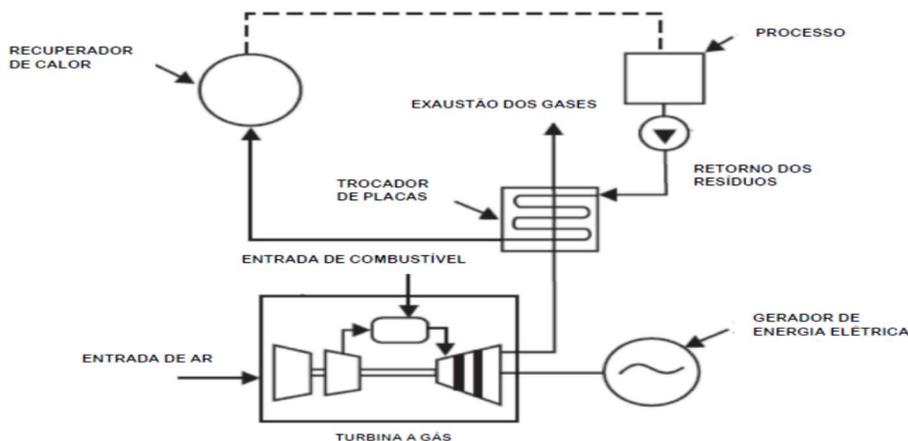
2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE COGERAÇÃO

As plantas de cogeração podem ser classificadas de acordo com a sequência de consumo de energia e esquemas de funcionamento adotados, um sistema de cogeração pode ser classificado como ciclo *Topping* ou ciclo *Bottoming* com base na sequência de uso de energia (BATHIA, 2014).

A cogeração conhecida como ciclo *Topping*, é o modelo em que o combustível primário gera primeiramente a energia elétrica ou geração principal e o calor resultante do processo é recuperado e utilizado para produção de energia térmica (KEHLHOFER, 1999).

O fluxo ilustrado na figura 9, demonstra uma instalação com cogeração classificada no ciclo *Topping*, com a utilização de turbina a gás. Neste modelo a queima do combustível com o auxílio da turbina gera uma força eletromotriz, a força é transformada em energia elétrica pelo gerador e disponibilizada para utilização na planta. O resíduo gerado com a queima do combustível são gases com alta temperatura e são aproveitados em processos que requerem energia térmica. O fluido é conduzido até o sistema com trocador de placas, com recuperador de calor e disponibilizado para um uso em processos que demandam calor.

Figura 9 - Esquema de cogeração no ciclo *Topping*

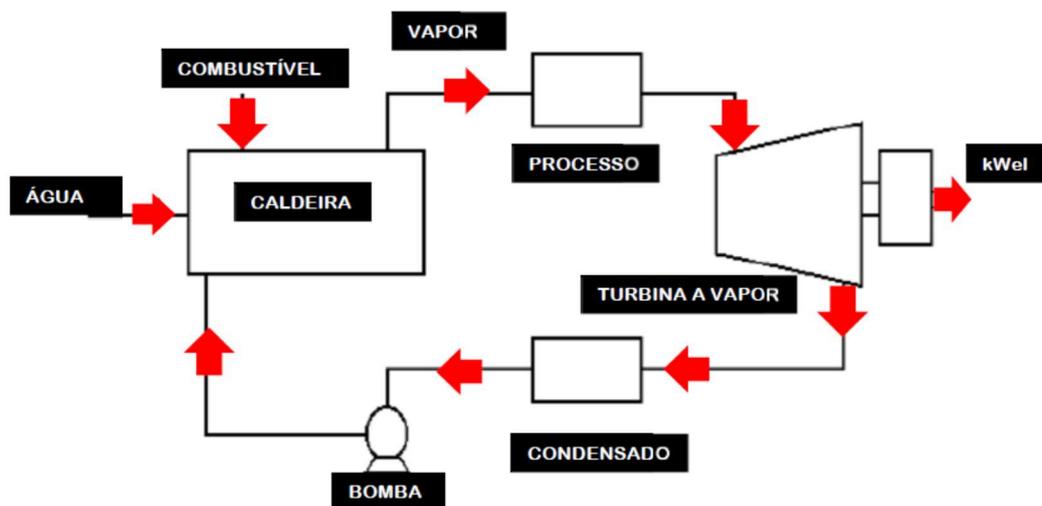


Fonte: Adaptado pelo autor com base em BATHIA, S.C. (2014)

A cogeração conhecida como ciclo *Bottoming*, é o modelo em que o combustível primário gera primeiramente a energia térmica ou geração principal e o calor resultante do processo é recuperado e utilizado para produção de energia elétrica (KEHLHOFER, 1999).

O fluxo ilustrado na figura 10, demonstra uma instalação com cogeração classificada no ciclo *Bottoming*, neste modelo o combustível alimenta a caldeira que gera a energia térmica utilizada na planta e a energia residual do processo, o vapor, é aproveitado para geração de energia elétrica através de uma turbina a vapor. Os resíduos oriundos do processo da turbina a vapor condensam e retornam novamente para caldeira iniciando novamente o ciclo.

Figura 10 - Esquema de geração no ciclo *Bottoming*



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Costa (2013)

2.4. TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE COGERAÇÃO

Considerando os equipamentos disponíveis no mercado brasileiro e a aplicação de cogeração de pequeno e médio porte para produção simultânea de energia elétrica e energia térmica no empreendimento a ser estudado, a seguir estão algumas das tecnologias levantadas.

- Turbina a gás (TG).
- Microturbina a gás (μ TG).

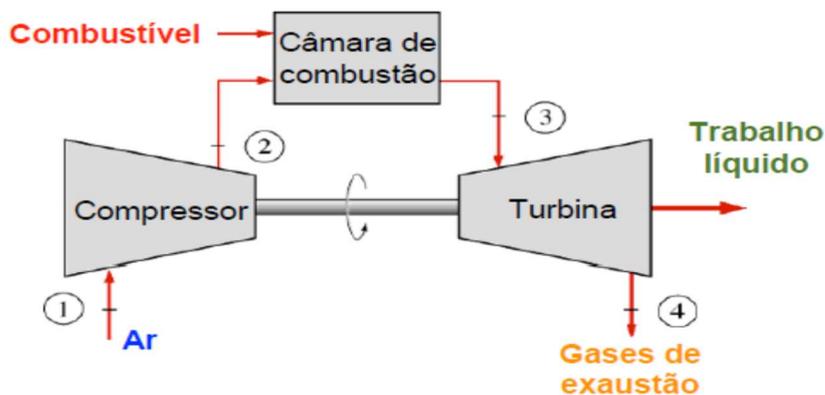
Apesar da análise considerar a tecnologia de turbina e microturbinas a gás, o mercado disponibiliza outras tecnologias com ênfase na produção de energia elétrica, água quente e água gelada, dentre elas estão a motor a combustão interna (MCI), a turbina a vapor (TV), motores

Stirling (MS), círculo orgânico de Rankine (COR), células de combustível (CC) e o resfriador de líquido por absorção (ABS) (ANDREOS, 2013).

2.4.1. TURBINA A GÁS (TG)

As turbinas a gás são equipamentos compactos, operam no ciclo *Brayton* e são compostos basicamente de compressor, câmara de combustão e turbina e em alguns casos por mais unidades, formando um grupo gerador, a figura 11, ilustra o fluxo de operação do equipamento. O ar atmosférico é aspirado, comprimido no compressor e encaminhado, a alta pressão, para câmara de combustão para mistura, e com o combustível pulverizado é provocada a ignição, obtendo um gás alta pressão e temperatura. O gás é enviado a uma turbina onde ocorre a expansão dos gases até a pressão de exaustão, o resultado é a obtenção de potência no eixo da turbina gerando trabalho. O trabalho produzido pelo eixo gera energia mecânica ou energia elétrica através de um gerador, a energia que não foi utilizada na geração de trabalho ainda permanece nos gases de combustão, assim sendo, estes gases podem apresentar alta temperatura ou alta velocidade (VAN WYLEN; SONNTAG, 1994).

Figura 11 - Ciclo *Brayton* com turbina a gás



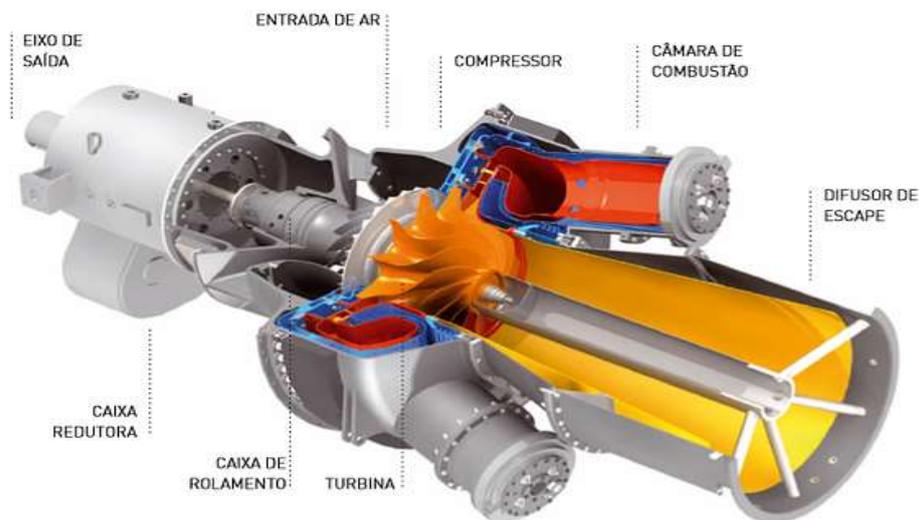
Fonte: Simões-Moreira (2020)

Os gases gerados são relativamente limpos e podem ser utilizados diretamente em outros processos com a geração de outro fluido térmico. Os combustíveis mais utilizados são o gás natural, o óleo desmineralizado e os gases oriundos de processos de gaseificação do carvão e biomassas. O termo “turbina a gás” refere-se aos gases consumidos como fluido de trabalho na câmara de combustão (ANDREASSA, 2016).

As turbinas a gás são muito utilizadas em cogerações de grande porte, devido a sua grande potência e alta capacidade de geração térmica recuperada pelos gases de exaustão para produção de vapor superaquecido, sua capacidade varia de 500 a 2.500 kWe (ANDREOS, 2013).

A figura 12, ilustra a sequência da entrada de ar, o compressor, a câmara de combustão, a turbina e a saída dos gases, ou seja, os principais componentes envolvidos na queima e produção de energia no interior da turbina.

Figura 12 - Modelo de turbina a gás.



Fonte: Turbocraft -Turbina OPRA OP16 (2021).

2.4.2. MICROTURBINA A GÁS (μ TG)

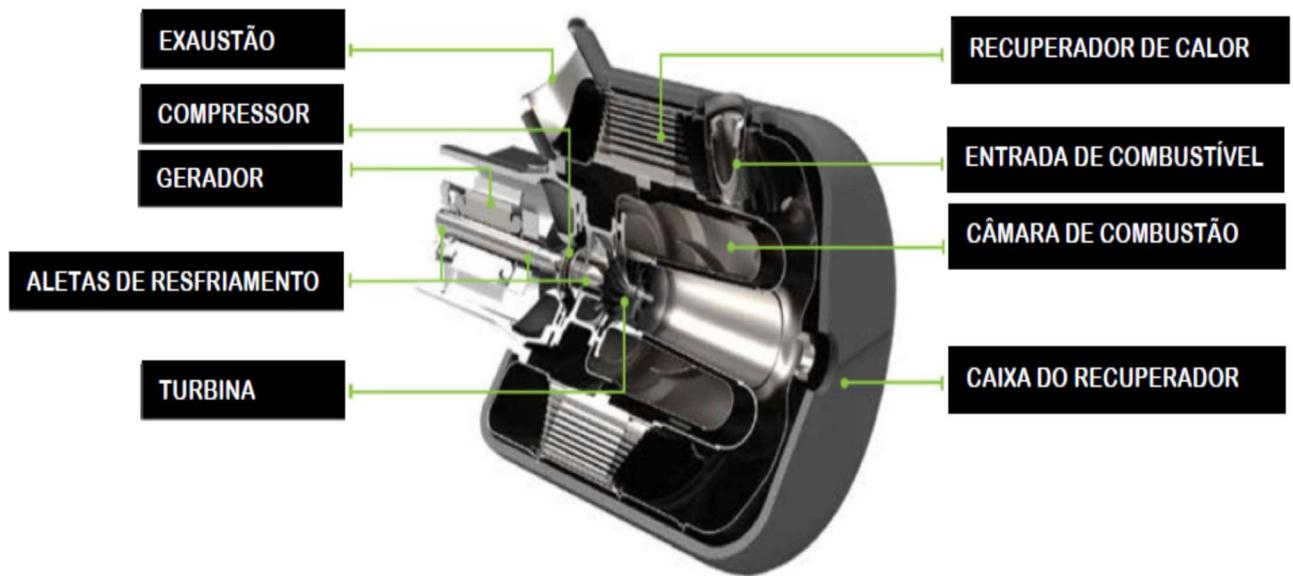
As microturbinas a gás são as TG em menor escala, sua capacidade de geração elétrica varia de 30 a 250 kWe e com a combinação de módulos podem chegar a 1.000 kWe. O equipamento é utilizado apenas para geração de energia elétrica e associado a outros equipamentos permite o aproveitamento do rejeito térmico dos gases de exaustão, e assim, configurar o sistema de cogeração de energia (ANDREOS, 2013).

Os combustíveis mais utilizados são gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), gases de processos ou combustíveis líquidos, como gasolina, querosene e óleo diesel. Ao comparar as microturbinas com as turbinas a gás, inicialmente possuem um custo maior para aquisição, porém, o custo com a manutenção das μ TG é menor em comparação as TG, e o fato de serem módulos compactos com baixo nível de ruído e possuírem recuperador de calor para produção de água quente, tornam o equipamento atrativo. As microturbinas estão substituindo os grupos

motogeradores a diesel por serem mais eficientes e poluírem muito menos (ANDREASSA, 2016).

A figura 13, ilustra os componentes da microturbina a gás, o posicionamento da entrada de ar, a saída dos gases proveniente da combustão do combustível e o recuperador de calor incorporado ao equipamento.

Figura 13 - Microturbina a gás



Fonte: Catálogo de microturbinas Capstone (HEIMER, 2021).

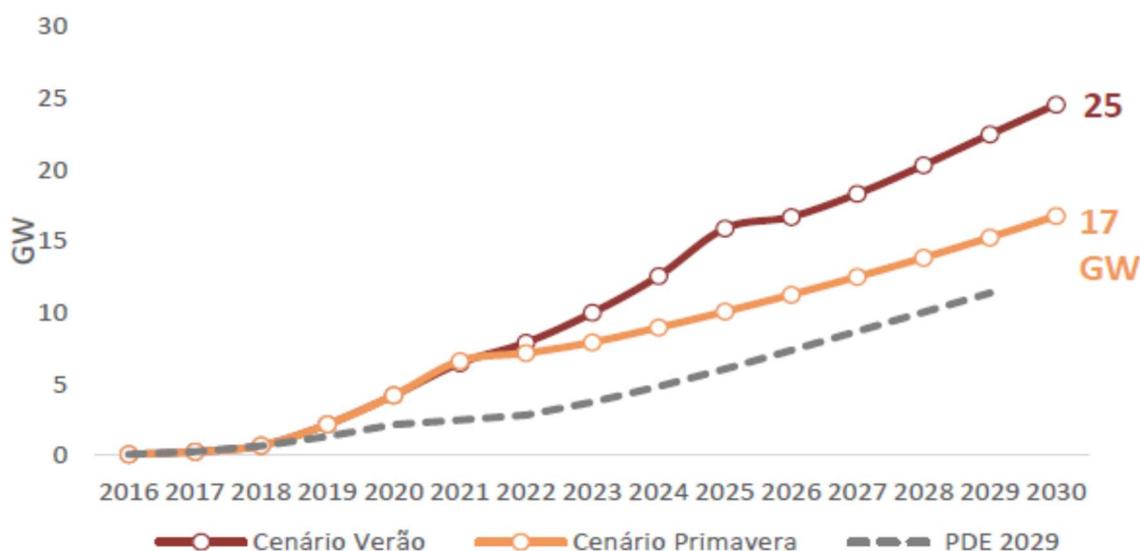
3. MICRO E MINIGERAÇÃO NO BRASIL

A modalidade de microgeração e minigeração distribuída (MMGD) vem crescendo no Brasil e não se pode mais dizer que representa um mercado pequeno, no ano de 2019 foram instalados novos 1,5 GW superando as expectativas do setor. O ano de 2020 foi afetado pela pandemia e apesar desse efeito o mercado continuou expandido e atingiu a marca de 3GW nos primeiros meses. As projeções apresentadas no Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030), indicam para o ano de 2030 a marca de 17 GW para o cenário primavera e 25 GW para o cenário verão de capacidade instalada em MMGD (EPE, 2021).

O PDE 2030 foi elaborado com dois cenários de referência, o primeiro cenário é o verão e considera manter a política de grande incentivo para a MMGD, apenas com mudanças sutis na regulamentação. O segundo cenário é o primavera, e considera remover os incentivos tarifários para a MMGD, mas mesmo assim o investimento na cogeração continua atrativo, garantido o crescimento moderado durante o decorrer da década.

A figura 14, apresenta o gráfico com as projeções para os cenários de verão e primavera e como comparativo, inclui a projeção para a MMGD do PDE 2029. É possível verificar que mesmo a projeção conservadora, neste caso o cenário primavera, a projeção de crescimento é acima da projeção estimada do PDE 2029.

Figura 14 - Gráfico de projeção da capacidade instalada de micro e minigeração de distribuída



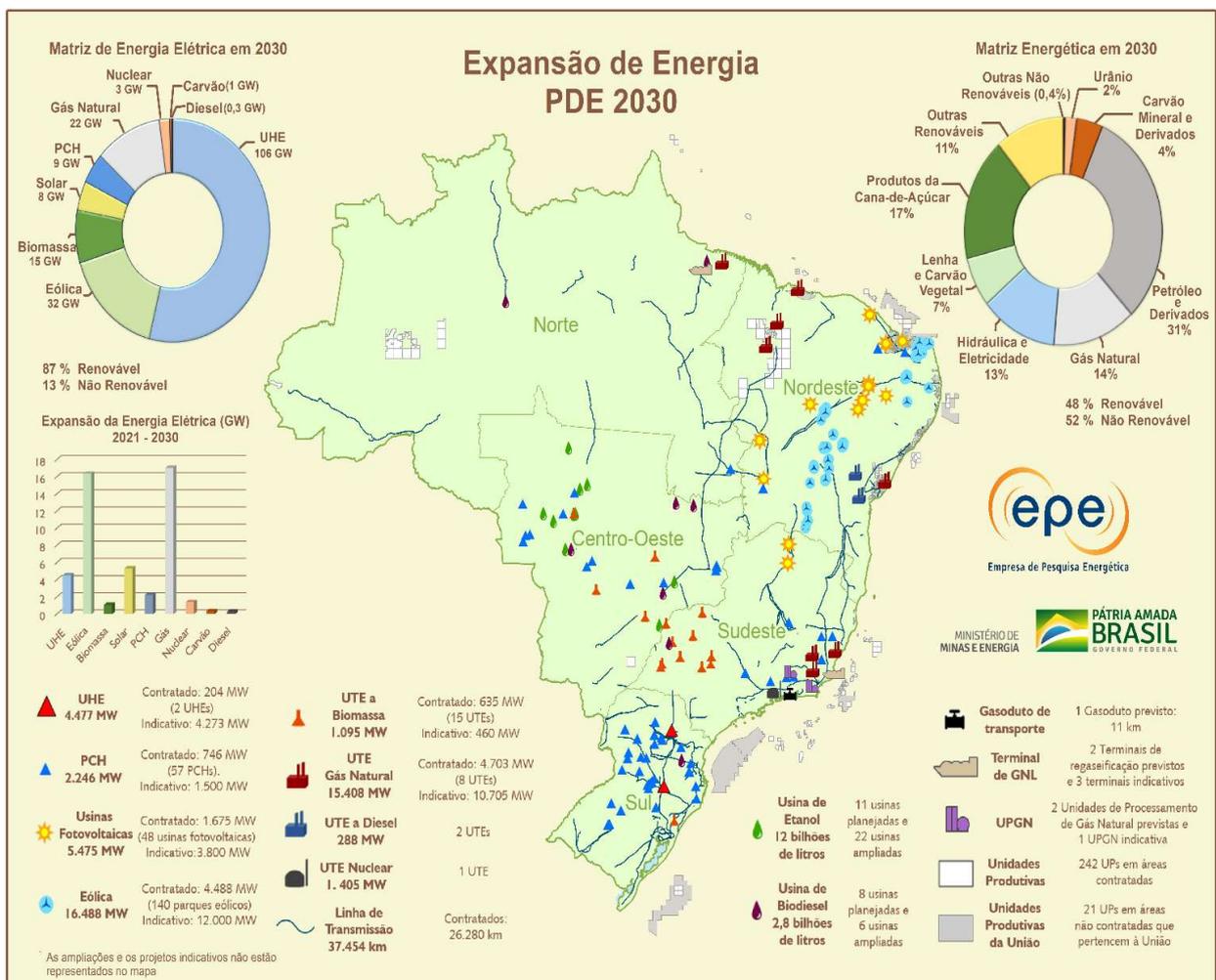
Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021).

Ao considerar a disponibilidade de elevado potencial de fontes renováveis, o alto valor das tarifas de eletricidade para os consumidores e um modelo de compensação de créditos

extremamente favorável, tornou o investimento de geração própria bastante rentável no Brasil, atraindo consumidores residenciais, grandes redes varejistas, bancos e indústrias a investirem em sistemas de micro e minigeração locais e remotos.

A figura 15, ilustra de forma ampla a expansão da energia no Brasil sintetizando o PDE 2030, os investimentos estão voltados para geração de energia através de fontes renováveis, principalmente a eólica, biomassa e solar. No caso das não renováveis a expansão contará com o gás natural, que apesar de ser um combustível fóssil, a emissão de GGE no processo de combustão é bem menor do que os demais combustíveis fósseis e a demanda de produção é crescente e estável.

Figura 15 - Mapa da síntese do PDE 2030



Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021).

3.1. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O conceito de geração distribuída foi introduzido no Brasil, através da Lei nº 10.848/2004, além disso criou o Ambiente de Contratação Regular (ACR), o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e condicionou à ANEEL, a autorização da comercialização do excedente de energia elétrica pelo agente autoprodutor. Neste momento também é estabelecida a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com a finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica.

O marco regulatório para a geração distribuída (GD) foi o Decreto nº 5.163/2004, delineando o mercado a ser atendido pelos geradores, bem como regulamentou a comercialização de energia elétrica, os processos de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica.

No mesmo ano de 2004, a ANEEL estabeleceu os critérios e os percentuais de redução a serem aplicados às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos hidrelétricos e para os geradores que utilizam as fontes renováveis como fonte primária, publicando a Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004.

A Resolução Normativa ANEEL nº 235/2006, estabeleceu os requisitos para o reconhecimento da qualificação de centrais termelétricas cogeneradoras, com vistas a participação nas políticas de incentivo ao uso racional dos recursos energéticos. A agência entende que atividade de cogeração de energia contribui para a racionalidade energética, possibilitando melhor aproveitamento e menor consumo de fontes de energia, quando comparada à geração individual de calor e energia elétrica.

Para que a instalação seja denominada central termelétrica cogeneradora, deverá observar o seguinte:

- a) a instalação específica denomina-se central termelétrica cogeneradora, cujo ambiente não se confunde com o processo ao qual está conectada, sendo que, excepcionalmente e a pedido do interessado, a cogeração poderá alcançar a fonte e as utilidades no processo, além das utilidades produzidas pela central termelétrica cogeneradora a que está conectado, condicionando aquelas à exequibilidade de sua completa identificação, medição e fiscalização, a critério exclusivo da ANEEL.
- b) a obtenção da utilidade eletromecânica ocorre entre a fonte e a transformação para obtenção da utilidade calor;

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, publicada e alterada pela Resolução nº 687/2015, define e estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica, sendo:

I – microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II – minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III – sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

VI – empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;

VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;

VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

A Resolução também define que podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, os consumidores responsáveis por unidade consumidora com características de microgeração ou minigeração distribuída, empreendimento de múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada e autoconsumo remoto. A compensação da energia ativa injetada no

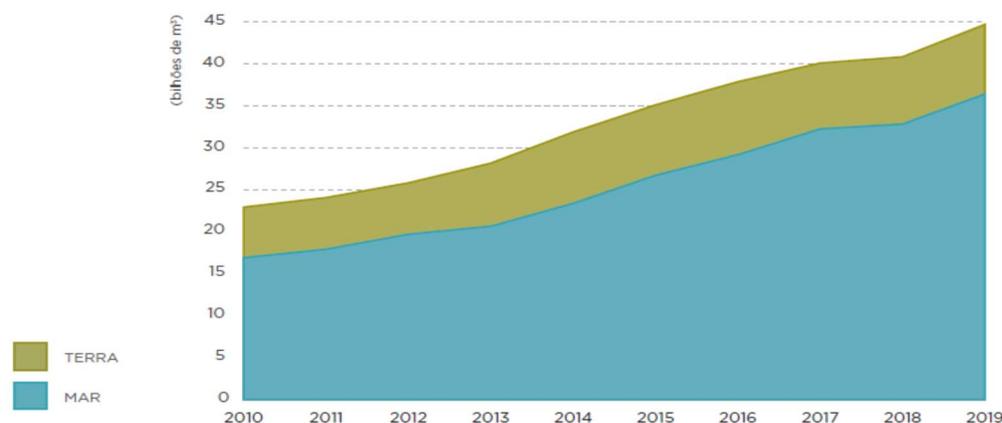
sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. O excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada.

A Resolução possibilita que o excedente de energia que não tenha sido compensado na própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, sempre observando o enquadramento como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto. Os empreendimentos são responsáveis pelos custos de adequação do sistema de medição para a conexão de minigeração distribuída e de geração compartilhada.

3.2. CENÁRIO DO GÁS NATURAL NO BRASIL

Segundo a ANP, nos últimos nove anos, o Brasil tem mantido o crescimento da produção de gás natural, em 2019 o aumento foi de 9,5%, totalizando 44,7 bilhões de m³ e no acumulado entre os anos de 2010 e 2019, a produção nacional de gás natural apresentou crescimento médio de 6,9% ao ano e no acumulado 95%. O gráfico da figura 16, apresenta o crescimento da produção de gás natural nos dois tipos de campos de extração, o do território e do mar. A produção dos campos em mar somou 81,4% do gás natural produzido no País, totalizando 36,4 bilhões de m³, aumento anual de 10,9%, sendo que a produção em terra cresceu 3,6%, totalizando 8,3 bilhões de m³.

Figura 16 - Evolução da produção de gás natural 2010 - 2019



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020 (ANP, 2020).

O Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020 (ANP), ilustra os dados de produção contabilizados do ano de 2019, e apresenta crescimento de 23,3% na produção no pré-sal, atingindo 25,9 bilhões de m³, representando 57,9% da produção total, contribuindo para o Brasil ocupar a 31ª posição no ranking mundial de produtores de gás natural.

O consumo de gás natural no período acumulado de 10 anos, cresceu em média o equivalente a 2,4% ao ano. A Região Sudeste responde por 59,1% de todo o volume comercializado em território nacional e continua sendo a maior região consumidora de gás natural no Brasil. A competitividade do gás natural ganha maior relevância ao considerar os valores do insumo destinado ao segmento de cogeração.

Na cidade de São Paulo as plantas de cogeração podem se beneficiar da tarifa para o segmento, conforme deliberação nº 376 de 27/11/2012 da Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo (ARSESP) que estabelece tarifa específica para o segmento de cogeração.

A tabela 2 e 3, ilustram os valores cobrados para o fornecimento de gás natural para o segmento de cogeração e comercial, conforme a deliberação ARSESP nº 1.136, de 25/02/2021, com vigência a partir de 28/02/2021, considerando os valores com ICMS.

Tabela 2 – Custo do gás natural no segmento cogeração

| Segmento Cogeração | | Valores com ICMS | |
|--------------------|---|--|--|
| | | Variável R\$/m ³ | |
| Classes | Volume m ³ /mês | Cogeração de Energia Elétrica destinada ao consumo próprio ou à venda a consumidor final | Cogeração de Energia Elétrica destinada à revenda a distribuidor |
| 1 | Até 5.000,00 m ³ | 0,639920 | 0,628364 |
| 2 | 5.000,01 a 50.000,00 m ³ | 0,501601 | 0,492543 |
| 3 | 50.000,01 a 50.000,00 m ³ | 0,431207 | 0,42342 |
| 4 | 100.000,01 a 500.000,00 m ³ | 0,326505 | 0,320609 |
| 5 | 500.000,01 a 2.000.000,00 m ³ | 0,337662 | 0,331565 |
| 6 | 2.000.000,01 a 4.000.000,00 m ³ | 0,305218 | 0,299706 |
| 7 | 4.000.000,01 a 7.000.000,00 m ³ | 0,266525 | 0,261712 |
| 8 | 7.000.000,01 a 10.000.000,00 m ³ | 0,227825 | 0,223711 |
| 9 | > 10.000.000,00 m ³ | 0,188227 | 0,184828 |

O custo do gás canalizado e do transporte destinados ao Segmento de Cogeração, já considerados os valores dos tributos incidentes no fornecimento pela Concessionária, é de:

a. R\$ 1,571245/m³ - adquirido como insumo energético utilizado na cogeração de energia elétrica destinada ao consumo próprio ou à venda a consumidor final.

b. R\$ 1,542873/m³ - adquirido como insumo energético utilizado na cogeração de energia elétrica destinada ao consumo próprio ou à revenda ao distribuidor.

Tabela 3 – Custo do gás natural no segmento comercial

| Segmento Comercial | | Valores com ICMS | |
|--------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Classes | Volume m ³ /mês | Fixo - R\$ /m ³ | Variável R\$ /m ³ |
| 1 | 0-0 | 49,08 | 1,477233 |
| 2 | 0,01 a 50,00 m ³ | 49,08 | 6,291783 |
| 3 | 50,01 a 150,00 m ³ | 79,73 | 5,678464 |
| 4 | 150,01 a 500,00 m ³ | 141,04 | 5,272149 |
| 5 | 500,01 a 2.000,00 m ³ | 321,98 | 4,910194 |
| 6 | 2.000,01 a 3.500,00 m ³ | 1.484,19 | 4,329165 |
| 7 | 3.500,01 a 50.000,00 m ³ | 5.565,89 | 3,163853 |
| 8 | > 50.000,00 m ³ | 14.765,65 | 2,979859 |

Fonte: Tarifas Comgás (2021).

Ao considerar uma unidade consumidora com consumo mensal de gás natural de 15.000 m³, o custo do m³ do combustível no segmento cogeração será de R\$ 1,57124 para parcela de transporte e de R\$ 0,50160 para parcela variável, totalizando R\$ 2,07285. No segmento comercial será de R\$ 0,37106, para parcela fixa e de R\$ 3,16385 para parcela variável, totalizando R\$ 3,53491.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O Serviço Social do Comércio foi criado em 1946, sendo personalidade jurídica de direito privado com objetivo de atender as demandas dos trabalhadores do comércio. A organização possui uma direção descentralizada e Conselhos Regionais com autonomia regional para contribuir no desenvolvimento e progresso da região, atuando no espaço em que a ausência do Estado é evidente.

O comerciário e sua família são a clientela específica do Sesc, e na sua grande maioria pessoas com emprego formal e com baixa renda. Atualmente no estado de São Paulo, a instituição conta com aproximadamente 8 mil funcionários e uma rede de 43 unidades operacionais que fomentam a cultura, o esporte, a saúde e a alimentação na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), interior e litoral do Estado.

As unidades operacionais do Sesc são equipamentos com sistemas prediais complexos, arquitetura diferenciada e abrigam os mais diferenciados espaços em um único empreendimento, como por exemplo: sala de espetáculo ao lado da clínica odontológica que está acima do parque aquático.

Atualmente o Sesc São Paulo possui 89 piscinas espalhadas por 31 unidades, os tanques de água para prática de recreação possuem profundidades máximas entre 1,40 m e 1,60 m, e as piscinas infantis têm altura entre 0,30 m e 1,00 m.

O volume total de água das piscinas do Sesc São Paulo é em torno de 29.262 m³, o que torna o uso cuidadoso desse elemento não apenas uma medida de economia, mas um verdadeiro compromisso de cidadania na gestão de recursos hídricos preciosos.

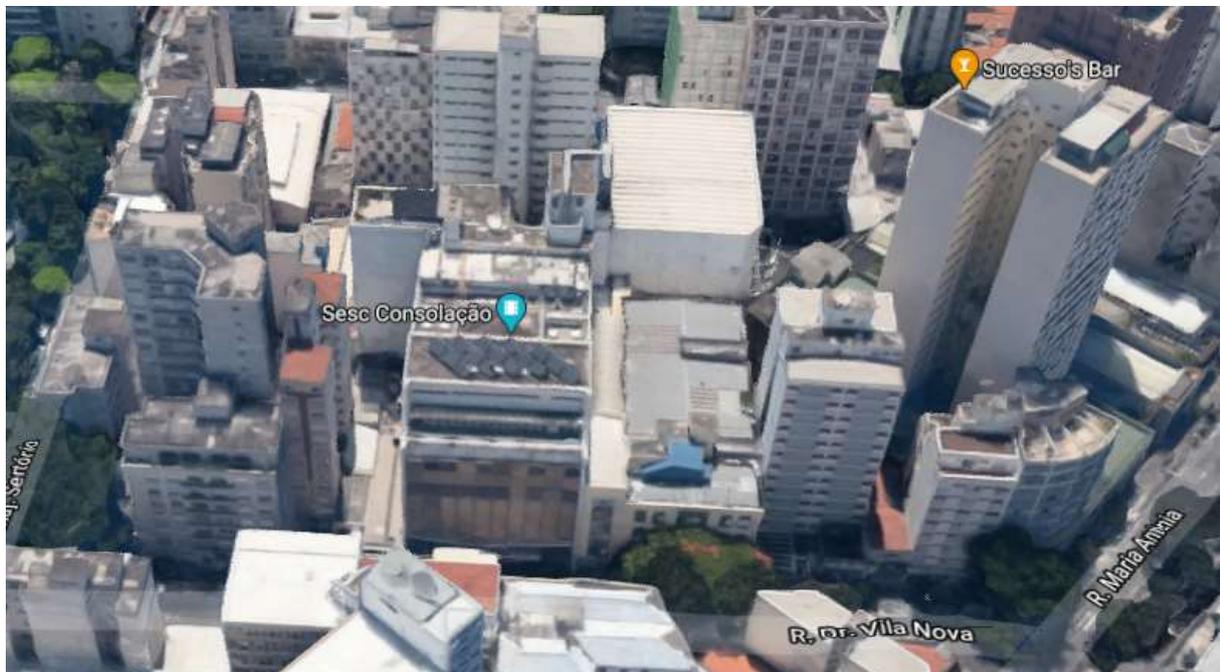
4.2. CARACTERÍSTICAS DO PARQUE AQUÁTICO ESTUDADO

O empreendimento em estudo é a Unidade Operacional (UO) Sesc Consolação, inaugurada no ano de 1967, com 16.582,68 m² de área construída, distribuídos em nove pavimentos, térreo, intermediário e subsolo.

Os pavimentos abrigam quadras poliesportivas, lanchonete, teatro, parque aquático, vestiários, clínica odontológica, espaço de convivência, salas múltiplo uso, centro de música,

áreas técnicas e estacionamento. O edifício está localizado na Rua Dr. Vila Nova nº 245, próxima Rua Maria Antônia, no bairro da Vila Buarque, na cidade de São Paulo (figura 17).

Figura 17 – Vista aérea da Unidade Sesc Consolação



Fonte: Google Maps (2021)

O parque aquático está instalado no pavimento intermediário, com área construída de 795,00 m² e pé direito de 9,60m, o espaço conta com duas piscinas, uma de recreação, denominada de “adulto” e outra de aprendizagem, denominada de “infantil”, e ambas com água aquecida.

Diariamente as piscinas são utilizadas pelo público credenciado para prática de atividades agendadas, em que contam com apoio de educadores esportivos, e atividades livres. O parque aquático está disponível para o público de terça-feira a sexta-feira, das 07h00 até às 21h30 e aos sábados, domingos e feriados das 10h às 18h30.

O acesso do público credenciado é realizado no mesmo pavimento através dos vestiários masculino e feminino das piscinas. A infraestrutura do espaço disponibiliza arquibancada para o público não credenciado, sendo possível acompanhar as atividades desenvolvidas nas piscinas.

Além dos tanques das piscinas, o espaço tem a área de circulação que o público credenciado utiliza para realizar atividades de alongamento. Na mesma área é realizada a guarda de acessórios utilizados nas atividades monitoradas, a guarda dos equipamentos e das capas térmicas utilizadas na cobertura do espelho d'água das piscinas.

O ambiente das piscinas é dotado de ventilação natural cruzada, através de janelas maxim ar, e as esquadrias de fechamento possuem vidros com propriedades acústicas, bem como o teto dispõe de revestimento acústico colado diretamente na laje, auxiliando na redução do nível de ruído produzido durante as atividades monitoradas e livres para o ambiente externo.

As estruturas dos tanques foram executadas em concreto armado, posteriormente receberam o sistema de impermeabilização, a camada de argamassa estruturada e o revestimento cerâmico.

O tanque da piscina de recreação mede 25,00 m x 12,00 m, com profundidade que varia de 1,20 m a 1,60 m, perfazendo o volume aproximado de 420,00 m³ de água aquecida, a figura 18, ilustra a imagem da piscina com as dimensões e a comunicação visual com a indicação da profundidade.

Figura 18 - Tanque de recreação



Fonte: Autor (2021)

A piscina de recreação é utilizada para competições esportivas, apresentações aquáticas e atividades agendadas com apoio de educadores esportivos, como por exemplo, as aulas de

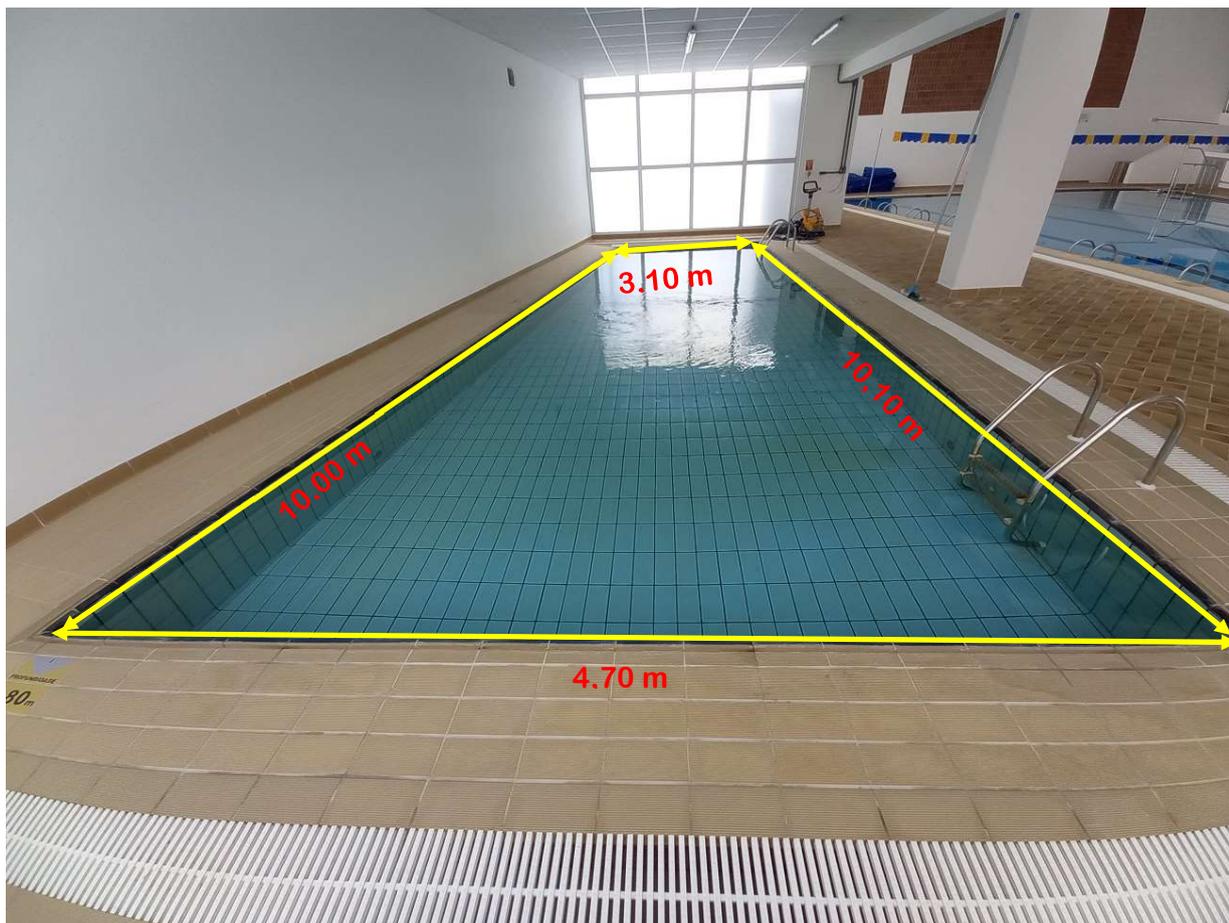
hidroginásticas. As aulas são ministradas durante o período da manhã, tarde e noite, sendo que no período da manhã a quantidade de turmas são maiores.

Nos intervalos entre as aulas, a piscina é disponibilizada ao público credenciado para prática livre de natação, sem restrição de faixa etária.

A temperatura da água da piscina de recreação flutua entre 28 °C e 31 °C, e o monitoramento e controle da temperatura é realizado por sensores de temperatura e por profissional tratador de piscina que atua no período de funcionamento do parque aquático.

O tanque da piscina de aprendizagem mede 10,10 (lado maior) e 10,00 m (lado menor) x 4,70 m (lado maior) e 3,10 m (lado menor). A profundidade varia de 0,80 m a 1,00 m, perfazendo o volume aproximado de 33,00 m³ de água aquecida, a imagem 19, ilustra as dimensões e posicionamento do tanque.

Figura 19 - Tanque de aprendizagem



Fonte: Autor (2021)

A piscina de aprendizagem é utilizada para a prática de natação com crianças iniciantes, atividades com crianças acompanhadas dos pais e alunos do projeto “Curumim”, trabalho oferecido para crianças, nas unidades do Sesc.

O Sesc tem como premissa trabalhar com a temperatura da água das piscinas entre 28 °C e 31 ° C. A temperatura sofre variação durante o período de operação, bem como após o fechamento do parque aquático e a reabertura no dia seguinte.

Ao longo do dia o sistema de aquecimento acaba sendo acionado para manter ou suprir a perda de temperatura da água para o ambiente, principalmente nos dias em que a variação, entre a água das piscinas e a temperatura externa, for grande.

O trabalho de monitoramento da temperatura da piscina é realizado através de sensores instalados nas tubulações do sistema de aquecimento, como também é aferida a cada duas horas pelo profissional tratador de piscina, diretamente nos tanques no instante em que os parâmetros de balneabilidade são verificados.

Dentre as ações para manutenção da temperatura das piscinas, o Sesc adota o procedimento de cobrir os espelhos d'água das piscinas com capa plástica térmica. A capa plástica utilizada possui características térmica e auxilia na retenção do calor dissipado na superfície da água dos tanques para o ambiente da piscina.

A capa térmica é composta por filme plástico com bolhas, espessura de 300 micras, com resina básica em polietileno mais aditivo anti-UV e oxidante. A cobertura da piscina de aprendizagem requer um conjunto de carretel móvel com um módulo de capa medindo 4,70 m x 11,00 m (figura 20), para cobrir a piscina de recreação são necessários quatro conjuntos de carretéis móveis com quatro módulos de capa térmica medindo 6,50 m x 13,50 m.

As capas térmicas são enroladas em carretéis móveis e ficam armazenados na área de circulação do parque aquático próximo as laterais dos tanques, a figura 20, ilustra a posição de armazenamento do conjunto da piscina de aprendizagem.

O procedimento de cobrir os espelhos d'água das piscinas, é realizado após o fechamento do parque aquático para o público, e sua retirada é realizada no dia seguinte, no momento em que o tratador de piscina inicia a verificação dos parâmetros de balneabilidade e aspiração dos tanques.

Os índices de temperatura e balneabilidade da água das piscinas são registrados em planilha específica e ficam disponíveis na sala do tratador de piscina para verificação do público ou dos órgãos de fiscalização competentes.

Figura 20 – Conjunto de carretel móvel e capa térmica da piscina de aprendizagem



Fonte: Autor (2021)

O gráfico da figura 21, ilustra o histórico da média mensal das temperaturas d'água das piscinas de aprendizagem, recreação e a temperatura externa ao ambiente do parque aquático entre os meses de janeiro de 2016 e fevereiro de 2019. Os índices mensais do gráfico consideram a média das temperaturas diárias registradas nas planilhas de controle diário de qualidade da água da piscina.

Nos dias em que o parque aquático é aberto para o público, os parâmetros de balneabilidade das piscinas são medidos a cada duas horas desde da abertura até o fechamento, incluindo as medidas de temperatura.

A temperatura d'água das piscinas e da temperatura externa é aferida pelo tratador de piscina com termômetro específico, as medidas da temperatura dos tanques d'água são realizadas no local com a inserção do equipamento na água, o primeiro registro de leitura é realizado às 6h00 e o último às 21h00. A medição da temperatura externa é realizada na área próxima do parque aquático.

Os parâmetros praticados e padronizados de temperatura das piscinas seguem as premissas da instituição, conforme documento P.I. 1.02 – Análise e Controle de Água de Piscina elaborado pelo Sesc São Paulo.

Ao iniciar os preparativos para abertura do parque aquático, as capas térmicas são retiradas dos tanques e com isso aumenta a dissipação do calor superficial d'água para o ambiente, nos dias com temperaturas mais baixas o processo ocorre com maior rapidez e desde do início da operação o sistema de aquecimento é acionado.

Nos dias em que a temperatura externa ao ambiente está elevada, a prática de cobrir os espelhos d'água com material térmico também é realizada e contribui consideravelmente para a manutenção da temperatura nos parâmetros.

O histórico dos registros mostra que mesmo nos meses com temperaturas mais baixas a média se manteve dentro da faixa de trabalho esperada, como por exemplo, no mês de agosto de 2018, que teve como média de temperatura 20 °C e a temperatura d'água na piscina de aprendizagem ficou acima de 30 °C e na piscina de recreação com temperatura média acima dos 29 °C.

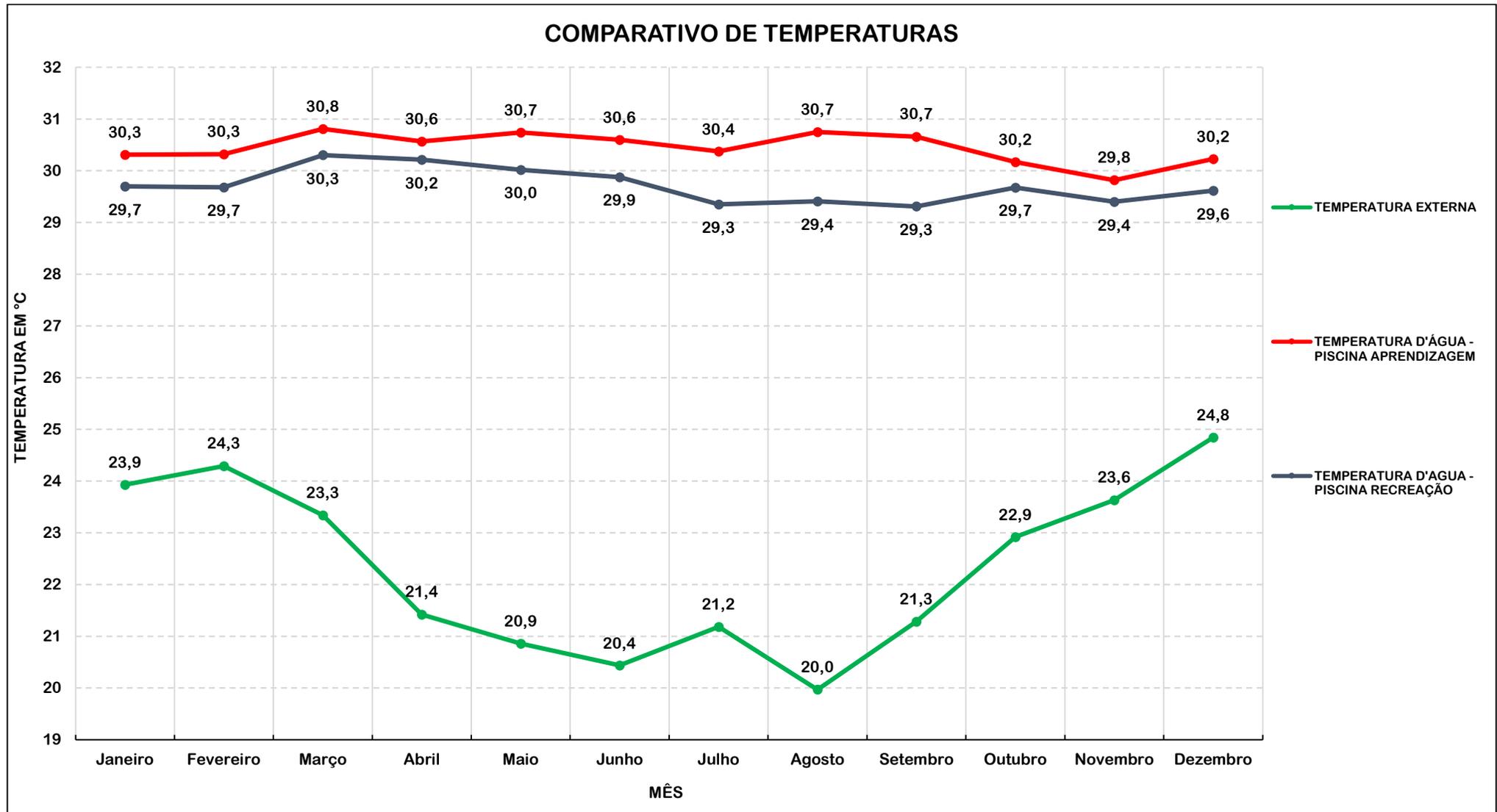
Na composição da temperatura média do dia, são consideradas as medidas da temperatura d'água a cada duas horas dos dias de funcionamento do parque aquático, assim como na temperatura externa que considera a média da temperatura de todos os dias.

O fato de a grande maioria do público frequentador do espaço ser da faixa etária acima dos 60 anos de idade, e realizarem as aulas nos primeiros horários, faz com que o processo de manutenção da temperatura da água, entre o fechamento no dia anterior e a abertura no dia seguinte, seja fundamental para propiciar um ambiente confortável para prática das atividades, principalmente nos dias com temperaturas mais baixas.

Entre os meses de abril e agosto os dias apresentam temperaturas mais baixas e as temperaturas d'água das piscinas são mantidas dentro dos parâmetros de operação, a tendência é de que o sistema de aquecimento seja acionado com mais frequência e por longos períodos, principalmente em dias subsequentes com baixas temperaturas.

A variação da temperatura média d'água da piscina de recreação é menor que a da piscina de aprendizagem, a diferença do volume de água entre os tanques é muito grande, os efeitos externos atuam em menor tempo na piscina de aprendizagem, ou seja, o tempo necessário para subir ou abaixar um grau na temperatura da água é relativamente pequeno quando comparado com a piscina de recreação.

Figura 21 – Gráfico comparativo das temperaturas d'água das piscinas de aprendizagem e recreação e a temperatura externa



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas planilhas de controle diário da balneabilidade da água da piscina (2021)

A temperatura d'água no início da operação do parque aquático deve ser a mais próxima possível dos parâmetros, principalmente nos dias em que a temperatura externa é baixa, pois o ganho de temperatura nas piscinas é lento.

O gráfico da figura 22, ilustra as temperaturas médias mensais aferidas para piscina de recreação, contemplando o índice coletado próximo ao início e término da operação, entre o mês de janeiro de 2016 e fevereiro de 2019

A temperatura média externa para os dias oscila entre 20 °C e 24,8 °C no período, e estão dentro dos padrões para época do ano respectivamente. Nos meses em a temperatura externa é mais baixa, a diferença entre a temperatura d'água da piscina no momento da abertura e fechamento sofre maior oscilação, com diferenças que variam de entre 1,0 °C e 1,5 °C, muito similar a perda entre o final da operação e o início da operação do dia seguinte.

Neste cenário é muito provável que o sistema de aquecimento será acionado com maior frequência e por longos períodos, pois a temperatura d'água do tanque tende a ficar próxima do parâmetro inferior que é 28 °C, na abertura do parque aquático para o público.

No gráfico é possível verificar que no período em que a temperatura externa é mais elevada o sistema de aquecimento d'água das piscinas será acionado por períodos mais curtos e em alguns dias.

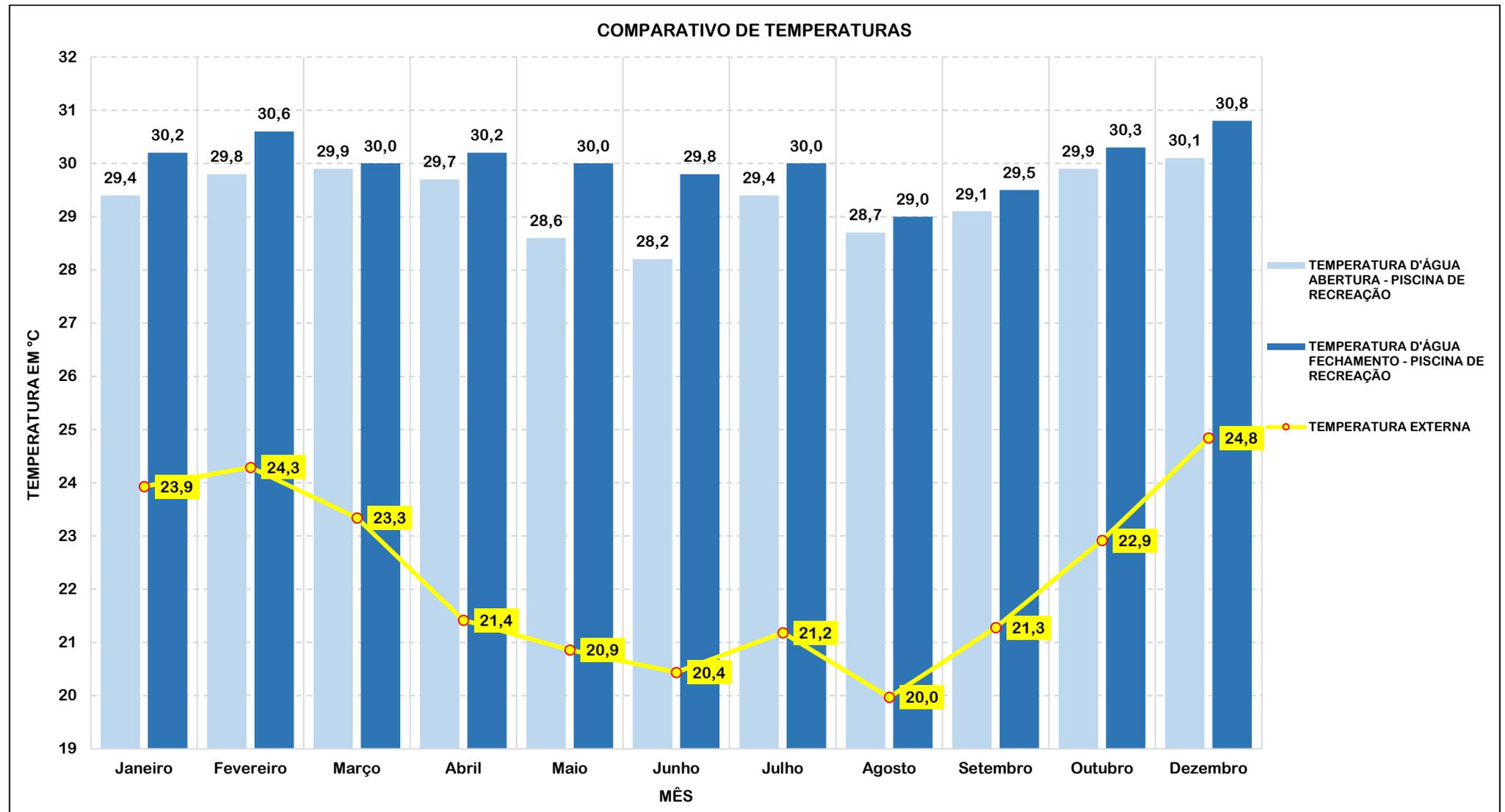
Também é possível verificar no gráfico que o ganho de temperatura na água da piscina de recreação durante o período de operação varia entre 0,5 °C e 1 °C e os índices de temperatura entre o início e término da operação são muito próximos.

A oscilação da temperatura da piscina é diretamente proporcional a temperatura externa, ou seja, nos meses que compreende o período primavera-verão, a oscilação na relação temperatura de abertura e fechamento será menor, bem como a diferença de ganho de temperatura durante o período de operação do parque aquático será menor.

Nos meses com temperatura externa mais baixa, a relação também é proporcional com a oscilação na relação temperatura de abertura e fechamento maior, bem como a diferença de ganho de temperatura durante o período de operação do parque aquático maior.

Outro fator a ser considerado na busca pelo conforto térmico é a diferença de temperatura entre a temperatura d'água e a temperatura do ambiente interno, quanto menor for a relação maior será a percepção de conforto do público que pratica atividade na piscina.

Figura 22 - Gráfico comparativo das temperaturas d'água da piscina de recreação na abertura e fechamento e a temperatura externa



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas planilhas de controle diário da balneabilidade da água da piscina (2021)

4.3. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

O sistema de aquecimento das piscinas de recreação e de aprendizagem é composto por duas fontes de energia térmica, sendo uma primária que disponibiliza a maior demanda de energia térmica e uma secundária com a função de oferecer suporte a primária em situações que a demanda de energia térmica necessária para o aquecimento d'água é superior ao oferecido pelos equipamentos do sistema primário.

Os sistemas projetados para piscinas com grandes volumes geralmente consideram o uso de bombas de calor, aquecedores de passagem elétricos ou a gás natural. A escolha do sistema leva em conta a disponibilidade da fonte de energia no local, o espaço disponível para instalação dos equipamentos e da infraestrutura, o custo para implantação e operação do sistema.

O sistema instalado na UO do Sesc Consolação atualmente conta com bombas de calor elétricas e aquecedores de passagem a gás natural para ambas piscinas, e anteriormente a reforma, o sistema era composto por bombas de calor elétricas e aquecedor elétrico de passagem para a piscina de recreação e por bomba de calor no caso da piscina de aprendizagem.

Os dados das temperaturas coletadas foram com a operação do sistema de aquecimento d'água misto anterior a reforma do parque aquático.

A infraestrutura de alimentação e interface com os tanques funcionavam de forma independente e com controles e monitoramento individualizados, os equipamentos dividiam o mesmo espaço físico da casa de máquinas, porém, a lógica de funcionamento era individual e de fácil visualização, tanto dos equipamentos quanto dos acessórios.

Após a reforma, o sistema de aquecimento de água das piscinas foi alterado e a piscina de aprendizagem passa a contar com o sistema misto com o uso de bombas de calor e aquecedores de passagem a gás natural. A piscina de recreação manteve o sistema misto de aquecimento, porém, passou a contar com bombas de calor e com aquecedores de passagem a gás natural em substituição ao aquecedor elétrico, com isso, a fonte de energia passa a ser de dois tipos, a energia elétrica e o gás natural.

A terceira opção proposta apresenta a configuração do sistema de aquecimento com a recuperação de calor através da microgeração de energia elétrica a gás natural como fonte primária de energia térmica e os aquecedores de passagem a gás natural a fonte secundária de energia térmica, ou seja, o sistema passa a ter o gás natural como combustível.

4.4. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO –CENÁRIO 01

A configuração do sistema de aquecimento no primeiro cenário ficou em operação até o mês de fevereiro de 2019. Após, o parque aquático foi fechado para manutenção dos tanques das piscinas, adequações civis e substituição dos sistemas de aquecimento d'água, tratamento químico e filtragem das piscinas.

Neste cenário o sistema de aquecimento é misto para a piscina de recreação e simples para piscina de aprendizagem. O sistema misto é composto por seis bombas de calor elétricas e um aquecedor elétrico de passagem. As bombas de calor elétricas operam como fonte primária de energia térmica e o aquecedor elétrico de passagem como fonte secundária.

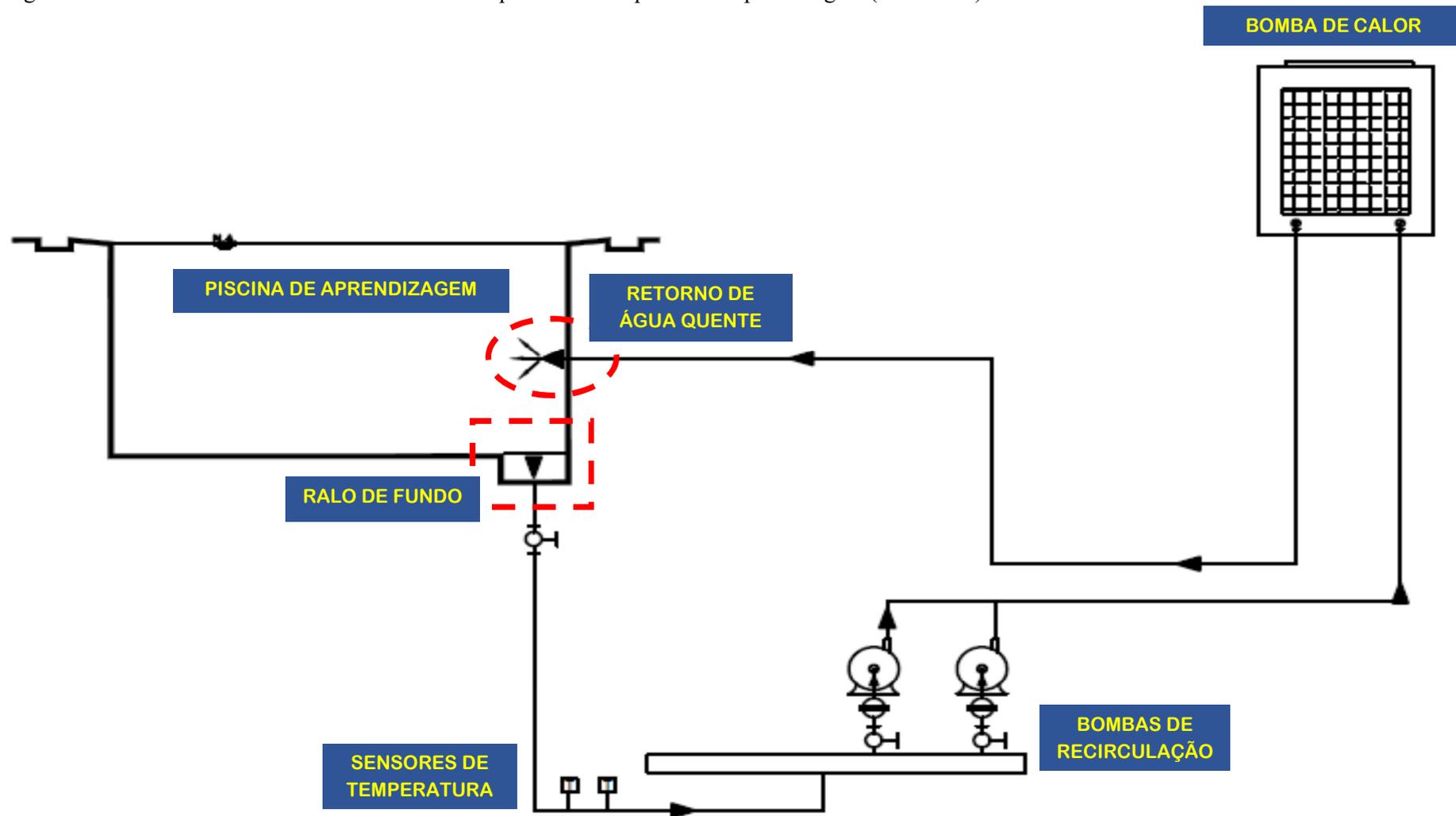
A figura 23, ilustra a lógica de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem, a água aquecida do tanque inicia o processo de circulação através do ralo de fundo, a partir deste ponto a tubulação faz a interligação entre o ralo de fundo e as bombas de recirculação.

No percurso da tubulação estão instalados os sensores de temperatura quem fazem a leitura da temperatura da água, e caso o valor medido esteja dentro dos parâmetros estabelecidos, também conhecido como “*set point*”, a bomba de calor não será acionada e água apenas fará a circulação pelo sistema passando pelo equipamento sem que haja o ganho de temperatura e retornará para o tanque através dos bocais de retorno.

Caso contrário, se a temperatura estiver abaixo da temperatura padrão, o sistema ativará a bomba de calor e a partir deste momento o equipamento inicia o processo de fornecimento de calor para água, que percorre o interior do equipamento e retornar para o tanque através dos bocais de retorno, o fluxo será repetido até que a temperatura da água da piscina retorne ao padrão estabelecido.

O acionamento da bomba de calor é realizado pelo sistema de comando que permite ligar e desligar a bomba de calor automaticamente, a interligação entre o quadro de comando e o quadro elétrico possibilita tais ações.

Figura 23 – Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem (cenário 01).



Fonte – Elaborado pelo autor com base no fluxo de aquecimento Alltech – Folha 01/02 (2000).

O sistema de aquecimento d'água da piscina de aprendizagem é composto basicamente pela bomba de calor. O equipamento tem potência nominal de 4,61 kW, com tensão de trabalho de 220 V, pressão máxima de trabalho de 4,0 kgf/cm², o modelo é o TP1000BM6, do fabricante Heliotek.

O equipamento fica instalado fora do ambiente do parque aquático próximo à casa de máquinas, o seu funcionamento gera ruídos e a descarga de ar frio para o ambiente, a figura 24, ilustra a bomba de calor elétrica instalada do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem,

Figura 24 - Bomba de calor da piscina de aprendizagem



Fonte: Autor (2019).

O sistema de aquecimento da piscina de recreação funciona diferente do sistema da piscina de aprendizagem, neste sistema o processo de aquecimento da água possui dois estágios, no primeiro as bombas de calor elétricas entram em operação como a fonte primária de energia térmica e o aquecedor elétrico de passagem como fonte secundária.

A figura 25, ilustra a lógica de funcionamento do sistema de aquecimento, a água aquecida do tanque inicia o processo de circulação através do ralo de fundo, a partir deste ponto a tubulação faz a interligação entre o ralo de fundo e as bombas de recirculação. No percurso da

tubulação estão instalados os sensores de temperatura quem fazem a leitura da temperatura da água, e caso o valor medido esteja dentro dos parâmetros estabelecidos, também conhecido como “*set point*”, as bombas de calor elétricas não serão acionadas e água apenas fará a circulação pelos equipamentos sem que haja o ganho de temperatura e retornará para o tanque através dos bocais de retorno, no total são seis equipamentos instalados em paralelo.

A partir do instante que os sensores de temperatura identificam que a temperatura da água da piscina está abaixo dos parâmetros, inicia-se o funcionamento dos equipamentos da fonte primária, ou seja, as bombas de calor elétricas são acionadas em sequência e o ciclo será repetido até a água da piscina atingir a temperatura padrão.

O segundo estágio é acionado quando o sistema de aquecimento primário d’água da piscina é solicitado e o rendimento das bombas de calor elétricas não conseguem fornecer calor suficiente, isso ocorre nos dias em que no período diurno a temperatura externa está próxima dos 18 °C ou nos períodos noturnos.

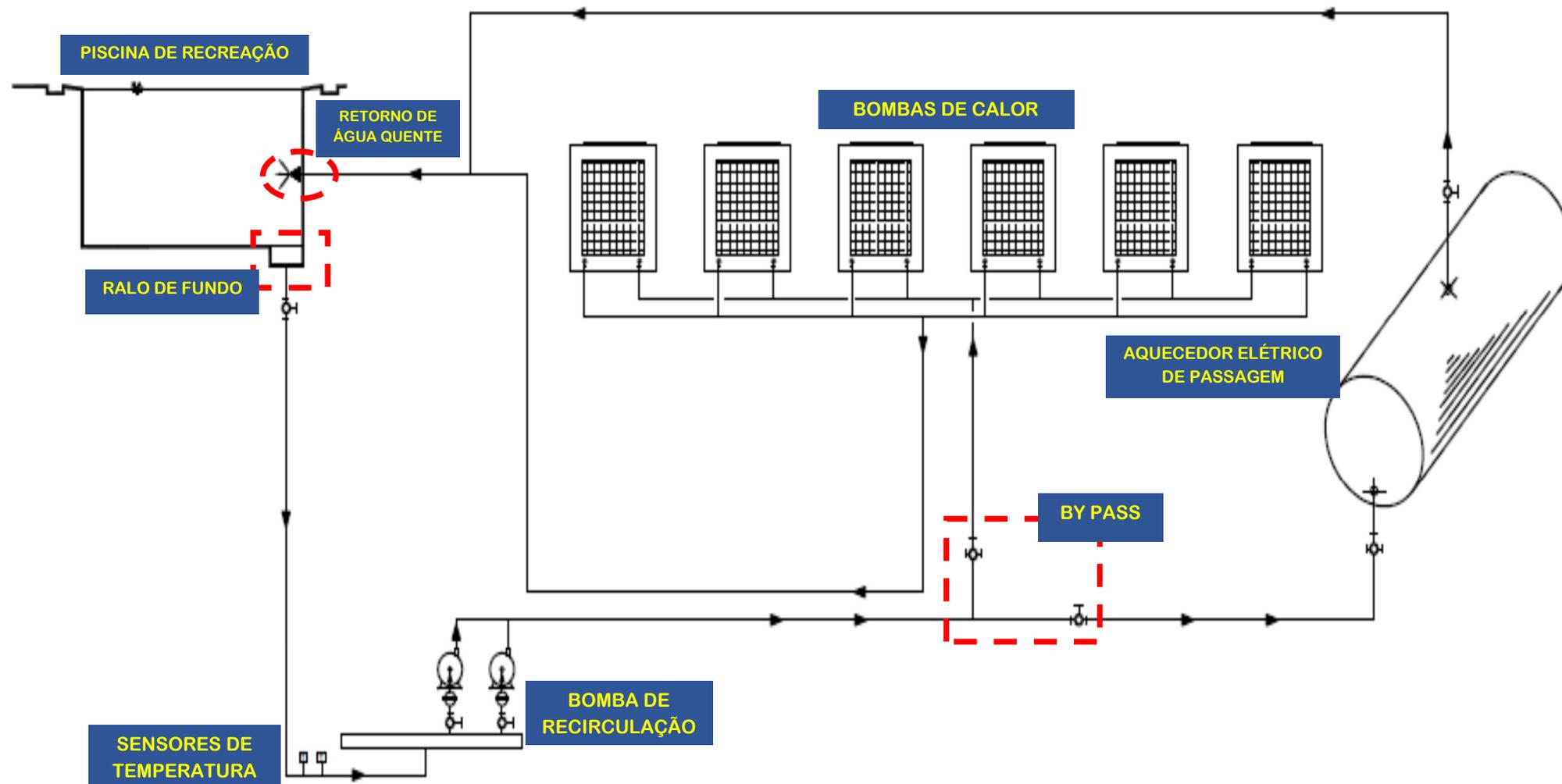
A fonte secundária entrará em operação com o acionamento do aquecedor elétrico de passagem e as manobras de *by pass* nos registros do sistema, para que o fluxo da água passe pela bomba de recirculação e seja direcionado para o tanque do aquecedor. Após atingir a temperatura padrão o aquecedor será desligado automaticamente e a água passará pelo seu interior sem que haja ganho de temperatura.

O procedimento de *by pass* é realizado manualmente pelo tratador de piscina, bem como as manobras de retorno para o estágio primário, as demais ações de ligar e desligar as bombas de calor elétricas e o aquecedor elétrico de passagem são automáticas com apoio de sensores e de quadros de comando.

O sistema primário de aquecimento d’água da piscina de recreação é composto por seis bombas de calor com potência nominal de 4,61 kW, com tensão de trabalho de 220 V, pressão máxima de trabalho de 4,0 kgf/cm², três bombas de calor são do modelo TP1000BM6 e as outras três do modelo TP1000CAD, do mesmo fabricante Heliotek.

O sistema secundário é basicamente o aquecedor elétrico de passagem, instalado ao lado da casa de máquinas das piscinas, o equipamento possui tanque em aço inoxidável com capacidade de 300 litros, potência elétrica é de 90 kW, potência térmica de 77.400 kcal/h, pressão máxima de trabalho de 4,0 kgf/cm², produção horária de 1.548 Lts/h, o modelo é o ER-90, do fabricante Etna.

Figura 25 -Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação (cenário 01)



Fonte – Elaborado pelo autor com base no fluxo de aquecimento Alltech – Folha 01/02 (2000).

A figura 26, ilustra o arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de recreação, a instalação fica em área externa, ao lado do parque aquático sobre a laje de cobertura da piscina de aprendizagem. O fluxo de água proveniente do ralo de fundo é distribuído paralelamente entre as bombas de calor e após a passagem pelo interior do equipamento retorna para piscina.

Figura 26 - Arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de recreação



Fonte – Autor (2019).

A figura 27, ilustra o aquecedor elétrico de passagem responsável pelo aquecimento d'água da piscina de recreação, o aquecedor da direita da imagem é responsável pelo aquecimento da água de banho dos vestiários das piscinas.

Os quadros do lado direito da imagem são responsáveis pela alimentação elétrica, pelos comandos automáticos de atuação do sistema e monitoramento das temperaturas dos sensores.

Figura 27 - Aquecedor de passagem elétrico do sistema de aquecimento da piscina de recreação



Fonte – Autor (2019).

4.5. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO –CENÁRIO 02

O sistema de aquecimento do cenário dois é misto com duas fontes de energia, a energia elétrica para as bombas de calor elétricas e o gás natural para os aquecedores de passagem. A configuração de funcionamento trabalha com dois estágios, a fonte de energia primária e outra secundária, as bombas de calor elétricas e os aquecedores de passagem a gás natural respectivamente.

Apesar da configuração do sistema ser a mesma para as duas piscinas, o processo de aquecimento da água acontece de maneira totalmente separada, cada piscina possui seus equipamentos, sua infraestrutura, seus componentes e seus acessórios.

Para piscina de aprendizagem o sistema é composto por duas bombas de calor elétricas e dois aquecedores de passagem a gás natural.

A lógica de funcionamento segue o mesmo princípio apresentado no cenário 1, com a verificação da temperatura d'água próximo ao ralo de fundo.

A partir da medição, o sistema inicia o processo de ligar ou desligar equipamentos, similar a sequência descrita no aquecimento da piscina de recreação do cenário 1 até atingir a temperatura padrão de operação.

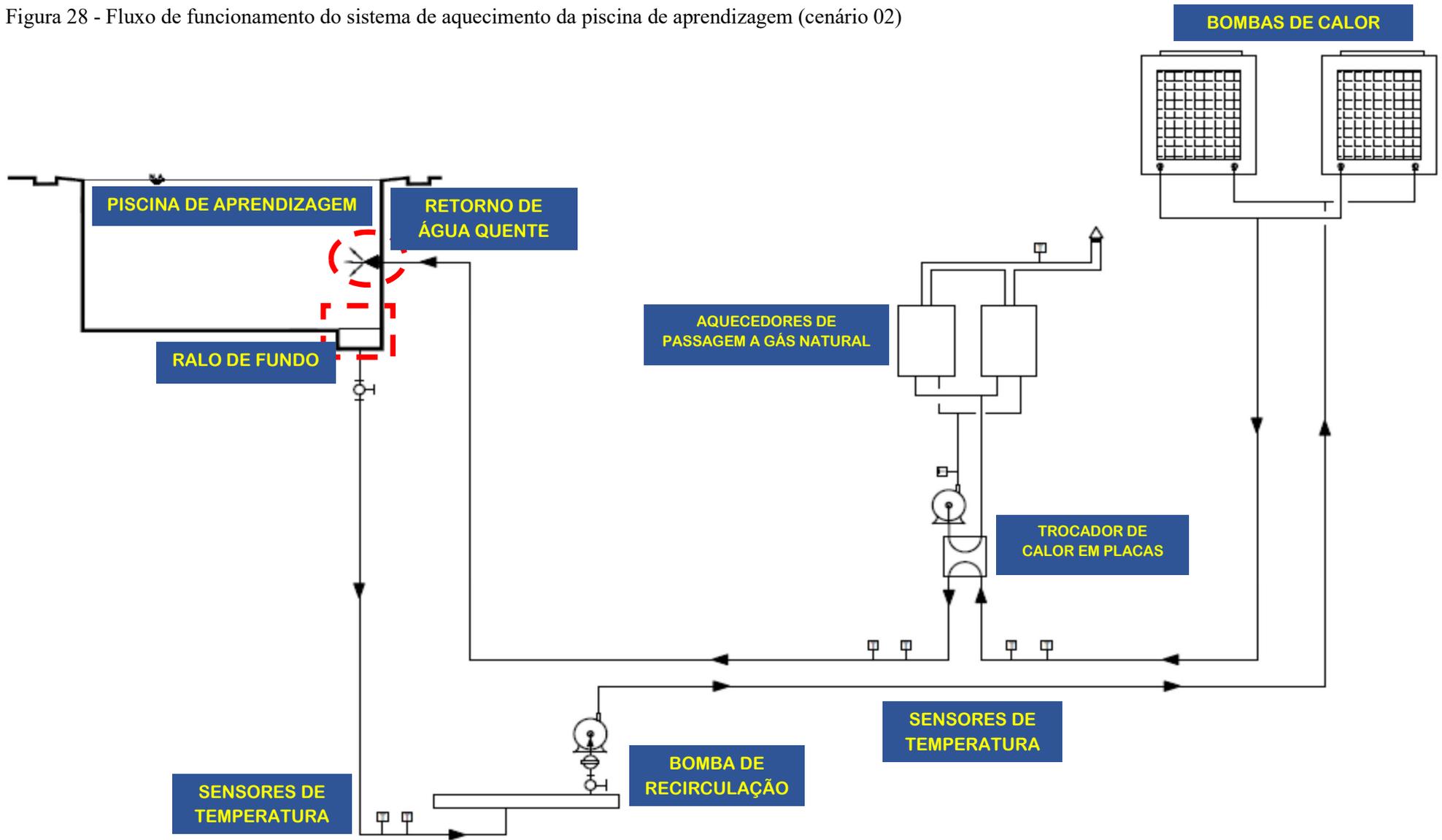
Nesta configuração, o segundo estágio possui um trocador de calor em placas que permite realizar a troca de calor entre a água aquecida pelos aquecedores de passagem a gás natural e a água do tanque.

Nas situações em que as bombas de calor elétricas não consigam o rendimento mínimo de operação, como por exemplo, nos dias mais frios e nos períodos noturnos, o sistema de aquecimento dispõe de sensores e controladores automatizados que gerenciará a dinâmica de funcionamento dos equipamentos, acionando diretamente a fonte de energia secundária sem a obrigatoriedade de ligar os equipamentos da fonte primária.

Todo o procedimento e operação dos equipamentos acontece de forma automática sem a necessidade de intervenção manual, seja nos equipamentos ou na infraestrutura de interligação das fontes de energia com os demais sistemas da piscina. A figura 28, ilustra o fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem.

O sistema de aquecimento d'água da piscina de aprendizagem é composto por duas bombas de calor elétricas com potência nominal de 6,2 kW, com tensão de trabalho de 220 V, pressão máxima de trabalho de 4,0 kgf/cm², o modelo é o SD60, do fabricante Sodramar e dois aquecedores de passagem a gás natural com potência nominal de 37,3 kW, modelo REU-1602 FEA, do fabricante Rinnai.

Figura 28 - Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem (cenário 02)



Fonte – Elaborado pelo autor com base no projeto fluxograma Mollinari – Folha 01/01 (2020)

As bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem, estão instaladas em área externa, ao lado do parque aquático sobre a laje de cobertura da piscina de aprendizagem, o local de instalação é diferente do local da bomba de calor elétrica do cenário 01.

O fluxo de água oriundo do ralo de fundo é distribuído paralelamente nos equipamentos, a figura 29, ilustra o arranjo físico das bombas de calor da piscina de aprendizagem.

Figura 29 - Arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem



Fonte – Autor (2021).

Os aquecedores de passagem a gás natural estão instalados na casa de máquinas da piscina, próximos do sistema de filtragem. Os equipamentos são abastecidos com gás natural e o fornecimento é através do cavalete exclusivo instalado na portaria de serviço da UO. Os equipamentos estão instalados em local abrigado e com ventilação natural cruzada. A descarga dos GEE é realiza no ambiente externo a casa de máquinas das piscinas através de dutos flexíveis metálicos.

O trocador de calor em placas compõe o sistema e está instalado próximo aos aquecedores de passagem e da tubulação de interligação do retorno d'água quente para o tanque. A figura 30, ilustra a disposição dos aquecedores de passagem e a posição da trocadora de calor em placas.

Figura 30 - Arranjo físico dos aquecedores de passagem a gás natural do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem

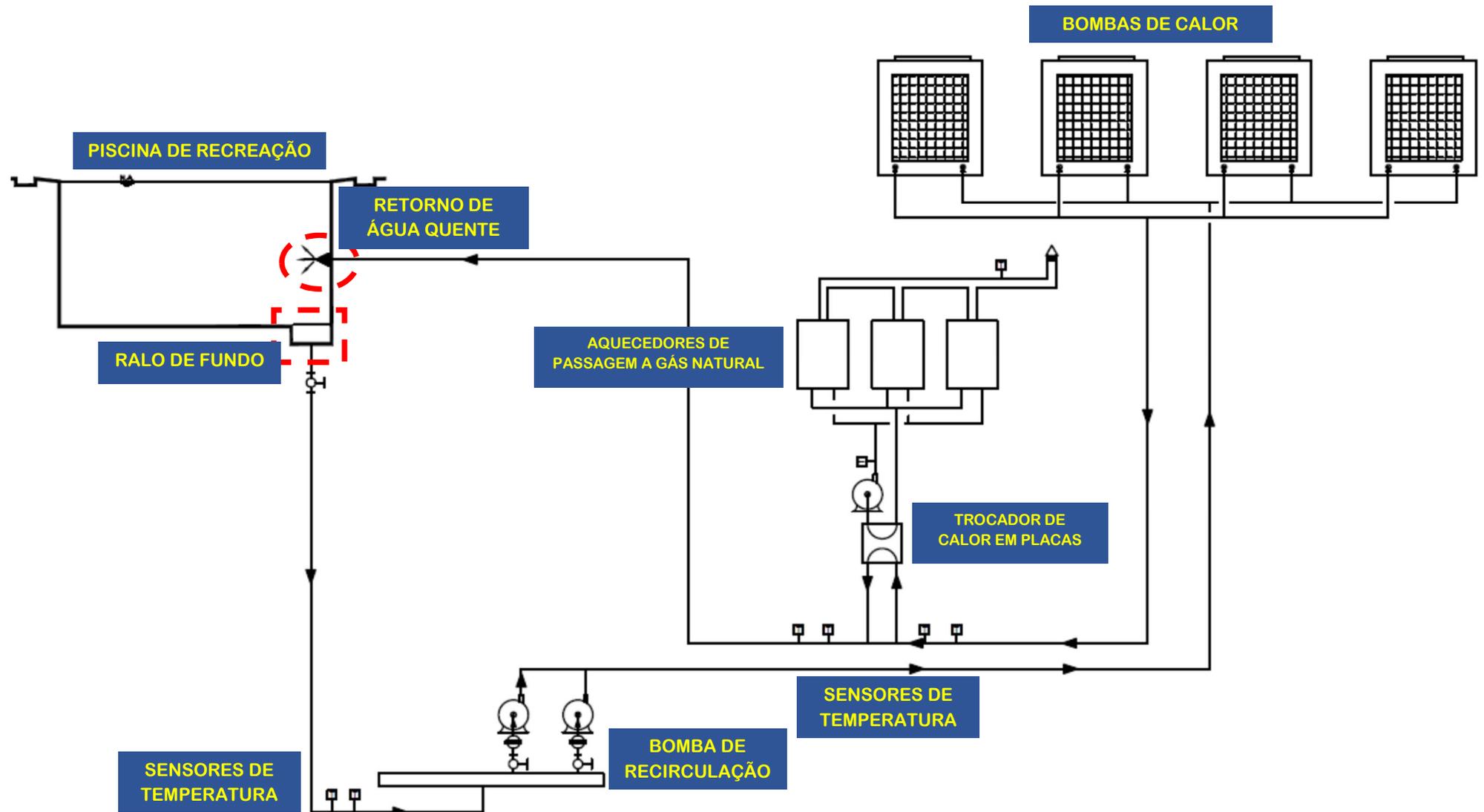


Fonte – Autor (2021).

O sistema de aquecimento da piscina de recreação tem o funcionamento similar ao da piscina de aprendizagem, as características divergentes são a potência e a quantidade de equipamentos que compõe o sistema. O arranjo físico do sistema conta com quatro bombas de calor elétricas e três aquecedores de passagem a gás natural.

Assim como no sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem o processo de aquecimento d'água possui dois estágios, sendo que o aquecimento da água da piscina de recreação funciona separadamente do sistema da piscina de aprendizagem. Os parâmetros de operação para temperatura d'água são idênticos nos dois tanques e o sistema de aquecimento será solicitado no momento em que a temperatura do fluido aferida na tubulação, próxima ao ralo de fundo do tanque, for inferior aos parâmetros estabelecidos. A figura 31, ilustra a lógica de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação.

Figura 31 - Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação (cenário 02)



Fonte – Elaborado pelo autor com base no projeto fluxograma Mollinari – Folha 01/01 (2020).

O sistema de aquecimento d'água da piscina de recreação é composto por quatro bombas de calor elétricas com potência nominal de 28,2 kW, com tensão de trabalho de 220 V, pressão máxima de trabalho de 4,0 kgf/cm², o modelo é o SD160, do fabricante Sodramar e três aquecedores de passagem a gás natural com potência nominal de 56,5 kW, modelo REU-2802 FEC, do fabricante Rinnai.

As bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de recreação, estão instaladas no mesmo espaço das bombas de calor da piscina de aprendizagem. O fluxo de água oriundo do ralo de fundo é distribuído paralelamente nos equipamentos, a figura 32, ilustra o arranjo físico das bombas de calor da piscina de recreação.

Figura 32 - Arranjo físico das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento da piscina de recreação



Fonte – Autor (2021).

Os aquecedores de passagem a gás natural estão instalados na casa de máquinas da piscina, ao lado dos aquecedores da piscina de aprendizagem, o trocador de placas que compõe o sistema está instalado próximo aos aquecedores e da tubulação de interligação do retorno

d'água quente para o tanque. A figura 33, ilustra a disposição dos aquecedores de passagem e a posição da trocadora de calor em placas logo abaixo.

Figura 33 - Arranjo físico dos aquecedores de passagem a gás natural do sistema de aquecimento da piscina de recreação



Fonte – Autor (2021).

4.6. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO –CENÁRIO 03

O modelo do sistema de aquecimento para o terceiro cenário, primeiramente avaliou a possibilidade de implantar painéis solares em conjunto de bombas de calor elétricas, porém, a pequena área de cobertura disponível para a instalação dos painéis e a distância a ser percorrida entre a estrutura das placas e os reservatórios, inviabilizaram a adoção do referido sistema.

Diante do exposto, o terceiro cenário proposto é composto por um sistema de aquecimento misto em que utiliza como fonte primária de energia térmica, a recuperação de calor através da microgeração de energia elétrica a gás natural, e os aquecedores de passagem a gás natural, a fonte secundária de energia térmica, ou seja, o sistema passa a ter o gás natural como

combustível. A configuração do sistema é a mesma para as duas piscinas, porém, o processo de aquecimento da água acontece de maneira totalmente separada, cada piscina possui seus equipamentos, sua infraestrutura, seus componentes e seus acessórios.

O funcionamento do sistema de aquecimento é similar ao ilustrado no cenário 2, com o acionamento inicial da microturbina para produção de energia elétrica e calor. O calor recuperado no processo aquecerá a água do circuito entre o recuperador de calor e o trocador de calor em placas.

Os aquecedores de passagem a gás natural serão acionados a partir do momento em que a energia térmica fornecida pela microturbina não for suficiente para aquecer a água do tanque até o parâmetro estabelecido.

A figura 34, ilustra a lógica de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem, o funcionamento do arranjo depende exclusivamente do fornecimento de gás natural para os equipamentos.

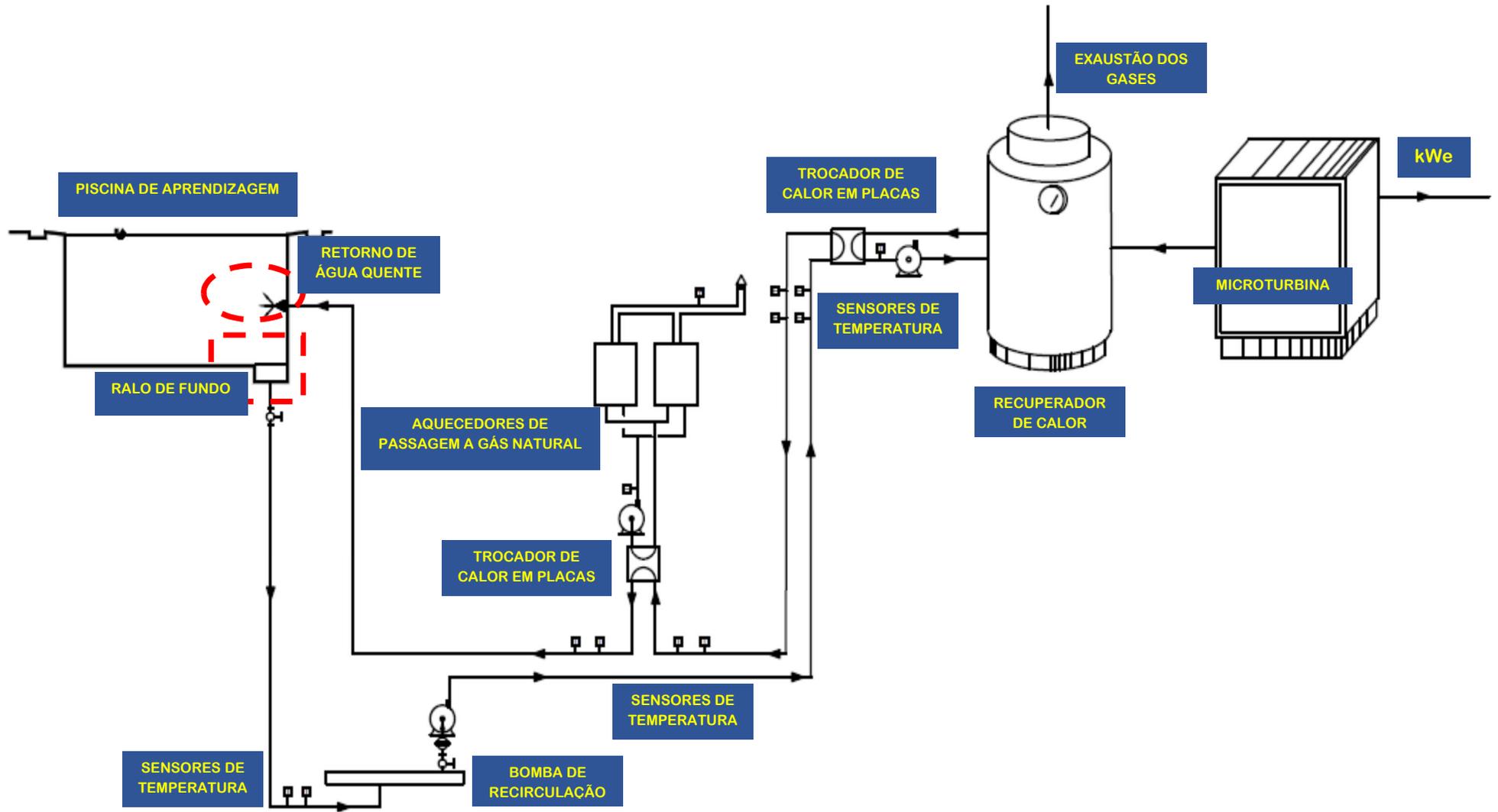
Os aquecedores de passagem a gás natural serão os existentes e permanecerão no mesmo local, conforme descrição já mencionadas no cenário dois. A microturbina será incorporada ao sistema em substituição as bombas de calor elétricas, a sua instalação será no espaço utilizado atualmente pelas bombas de calor, em área externa, ao lado do parque aquático sobre a laje de cobertura da piscina de aprendizagem.

O sistema de aquecimento da piscina de recreação tem o funcionamento similar ao da piscina de aprendizagem, as características diferentes são a potência e a quantidade de equipamentos que compõe o sistema. O arranjo físico do sistema conta com microturbina a gás natural, três aquecedores de passagem a gás natural e duas trocadoras de calor em placas.

Assim como no sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem o processo de aquecimento d'água possui dois estágios, a fonte de energia primária e outra secundária, o calor recuperado do processo de geração de energia elétrica a gás natural e os aquecedores de passagem a gás natural respectivamente.

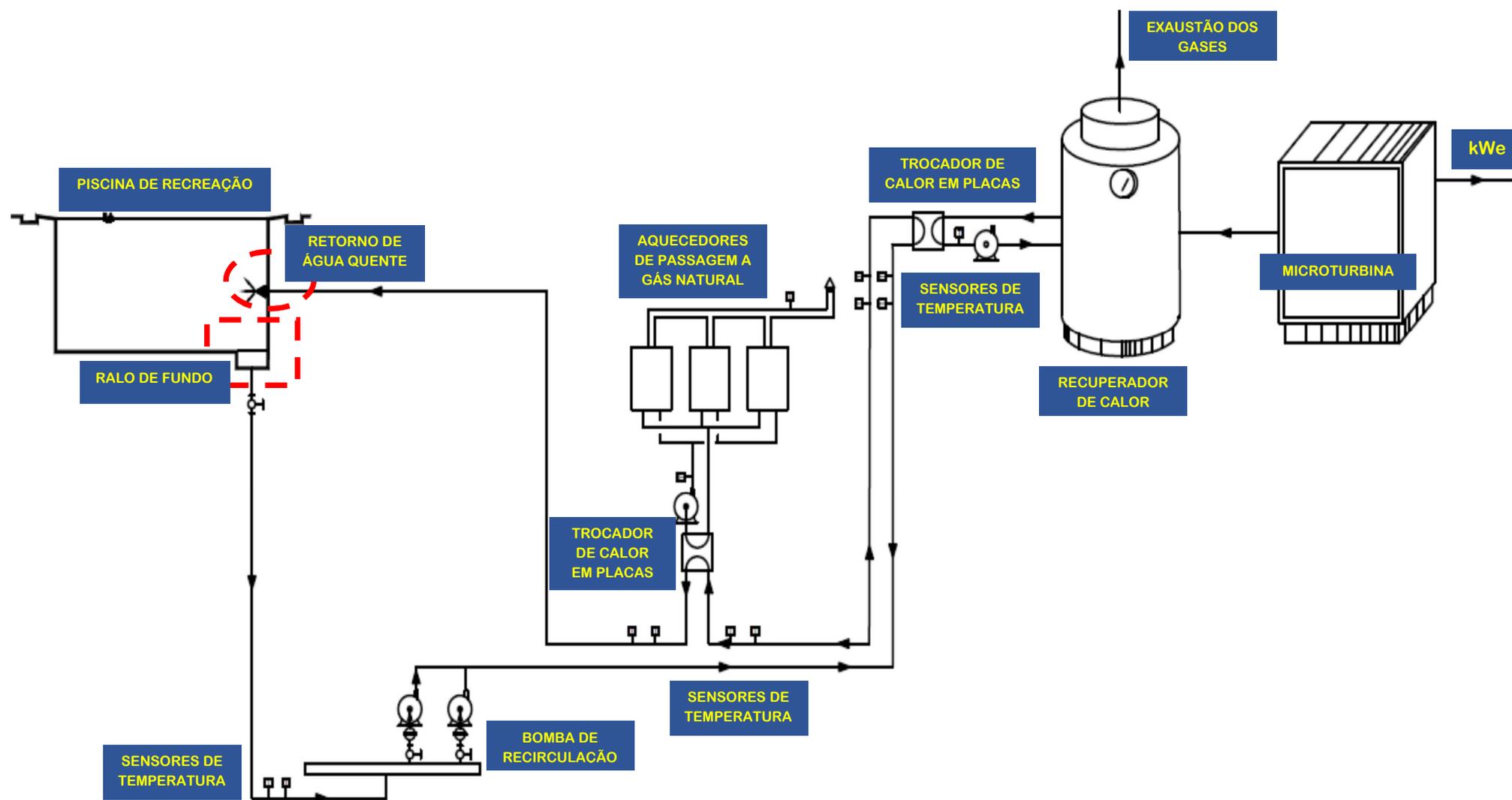
O processo de aquecimento da água acontece de maneira totalmente separada da piscina de aprendizagem, a figura 35, ilustra o fluxo de funcionamento do sistema. Assim como no arranjo da piscina de aprendizagem a microturbina será incorporada ao sistema em substituição as bombas de calor elétricas e a sua instalação será no mesmo espaço da turbina do sistema da piscina de aprendizagem.

Figura 34 - Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem (cenário 3)



Fonte – Elaborado pelo autor com base no projeto fluxograma Mollinari – Folha 01/01 (2020).

Figura 35 – Fluxo de funcionamento do sistema de aquecimento da piscina de recreação (cenário 03)



Fonte – Elaborado pelo autor com base no projeto fluxograma Mollinari – Folha 01/01 (2020).

5. ANÁLISE E COMPARAÇÕES

5.1. PREMISSAS ADOTADAS

As análises e comparações terão como base o parque aquático descrito no tópico 4.2 e os dados de consumo do sistema de aquecimento apresentado no cenário 01, através de bombas de calor elétricas e aquecedor elétrico de passagem.

Os dados de consumo e os custos para operação do sistema de aquecimento apresentados nos cenários 02 e no cenário 03, serão mensurados com base nos dados iniciais e reais do cenário 01. Os aspectos técnico, econômico e de aplicabilidade do sistema de aquecimento d'água misto para piscinas serão abordados, considerando a configuração dos três cenários apresentados no capítulo 4.

O funcionamento do sistema de aquecimento será considerado a disposição, 24 horas por dia e 07 dias da semana, com a premissa de garantir a manutenção da temperatura d'água das piscinas dentro dos padrões estabelecidos pelo Sesc São Paulo. Os parâmetros a serem utilizados nos cálculos serão os valores reais apurados com a operação do sistema de aquecimento do cenário 01, considerando o uso do sistema durante o período de funcionamento do parque aquático, no período noturno e nos dias em que o parque está fechado para o público.

No cenário proposto a energia elétrica gerada com o microgerador será utilizada na alimentação dos equipamentos do sistema de filtragem das piscinas.

O fornecimento de energia elétrica para UO é de responsabilidade da empresa Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A. – ENEL, e a demanda contratada é de 450,00 kW, subgrupo tarifário AS_VD, modalidade de fornecimento verde, tensão de fornecimento 127/220V e com horário de ponta das 17h30 às 20h30.

5.2. DEMANDA ELÉTRICA

O histórico de consumo médio diário nos meses de energia elétrica contempla o período entre o mês de janeiro de 2016 e fevereiro de 2019. Os valores consideram a operação do sistema de aquecimento das piscinas de aprendizagem e de recreação em conjunto.

A tabela 4, ilustra o consumo médio diário para os meses, separados em horário de ponta (P) e fora de ponta (FP), levando-se em conta o consumo de 07 bombas de calor elétricas e 01 aquecedor elétrico de passagem.

Os parâmetros de temperatura para operação das piscinas são idênticos, bem como a similaridade entre as especificações técnicas das bombas de calor elétricas.

Tabela 4 – Histórico do consumo médio diário de energia elétrica

| Mês de Referência | Consumo Fora de Ponta Média Diária (kWh) | Consumo Ponta Média Diária (kWh) | Consumo Total Média Diária (kWh) |
|-------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 522 | 83 | 605 |
| Fevereiro | 678 | 85 | 763 |
| Março | 810 | 86 | 896 |
| Abril | 929 | 86 | 1.015 |
| Maio | 978 | 258 | 1.236 |
| Junho | 1.025 | 252 | 1.277 |
| Julho | 1.175 | 195 | 1.370 |
| Agosto | 1.115 | 274 | 1.389 |
| Setembro | 1.053 | 272 | 1.325 |
| Outubro | 970 | 119 | 1.089 |
| Novembro | 663 | 150 | 813 |
| Dezembro | 598 | 87 | 685 |
| TOTAL | 10.516 | 1.947 | 12.463 |

Fonte – Elaborado pelo autor com base nas planilhas do sistema de telemetria da UO (2020)

As quantidades mensuradas, indicam a quantidade de energia elétrica necessária para acionar os equipamentos e produzir calor para manter diariamente a temperatura d'água das piscinas dentro dos parâmetros estabelecidos durante o período de doze meses.

Com base nos dados da tabela 4, o consumo total médio diário oscila entre 605 e 1.389 kWh durante os meses. A figura 36, apresenta o gráfico compilado com a temperatura média das piscinas de recreação e de aprendizagem, a temperatura média externa e o consumo médio diário de energia elétrica.

Os dados do gráfico indicam que nos meses em que a média da temperatura externa oscilou para baixo houve o aumento do consumo médio de energia elétrica e as temperaturas d'água das piscinas mantiveram-se dentro dos parâmetros, oscilando entre 28 °C e 31 °C.

O aumento no consumo de energia elétrica nos períodos em que a temperatura externa está mais baixa indica que os equipamentos foram acionados com maior frequência por períodos mais extensos.

A relação entre a temperatura externa e o consumo de energia elétrica não é proporcional, pois para cada grau celsius que a temperatura externa sobe, os valores do consumo de energia não é o mesmo se compararmos com a redução de cada grau celsius da temperatura externa.

O consumo de energia se torna mais importante nas situações em que se requer o ganho de temperatura, a perda de calor d'água dos tanques para o ambiente acontece em menor tempo se compararmos com o ganho de temperatura propiciado pelos equipamentos.

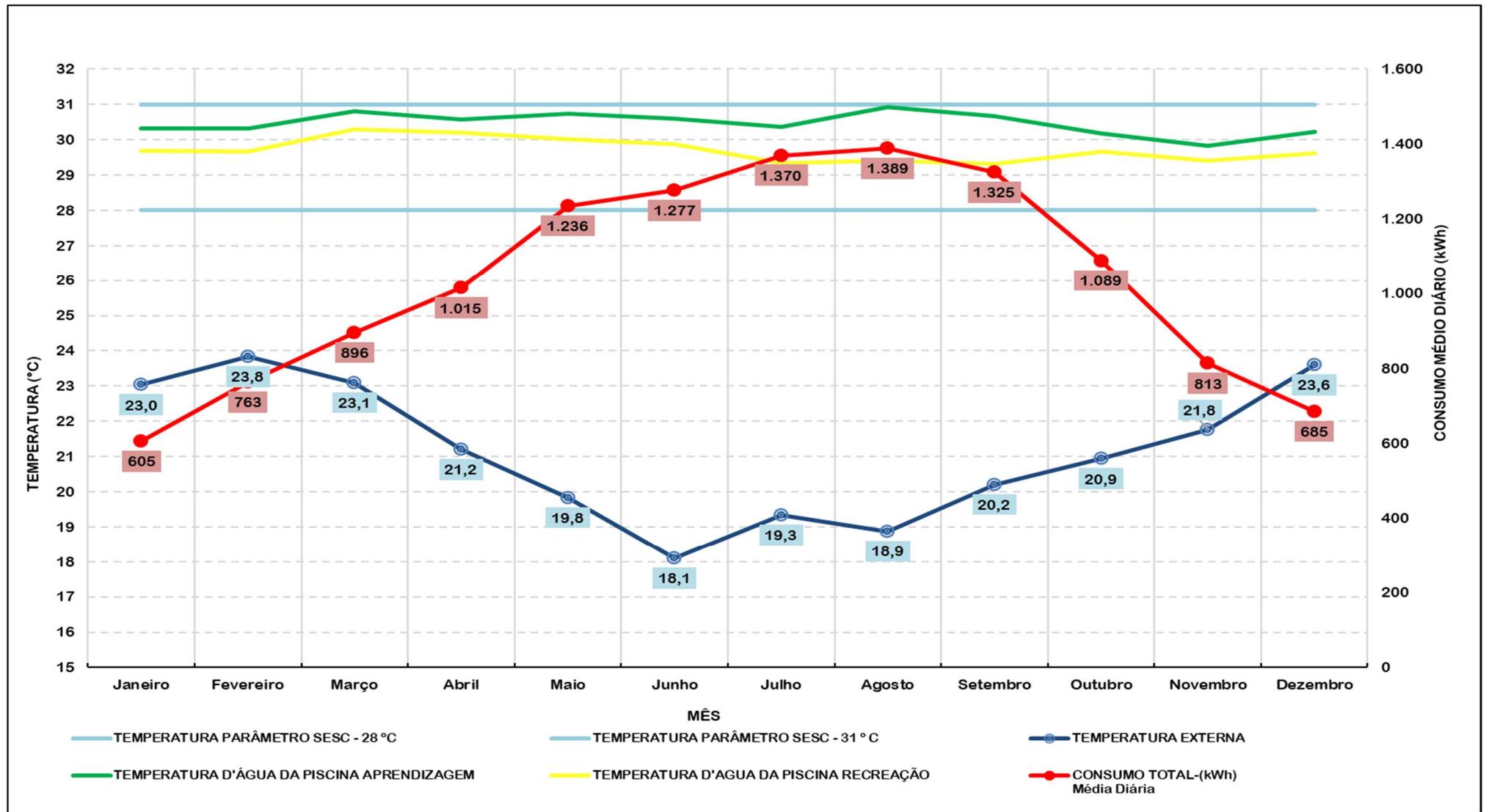
Ao levar em conta o volume de água a ser aquecida, a elevação da temperatura requer longos períodos de uso dos equipamentos e conseqüentemente em horários que coincidem com o período de ponta em que as tarifas cobradas pela concessionária sofrem acréscimos consideráveis.

Entre os meses de janeiro e março a temperatura média externa e os valores de consumo sofrem pouca variação, ao entrar no mês de abril as oscilações na temperatura e consumo de energia elétrica começam e no mês de julho e agosto atingem o ápice coincidindo como o período do inverno.

A partir do mês de setembro a temperatura média externa começa a subir constantemente até o mês de dezembro, coincidindo com o período primavera verão.

A prática de cobrir o espelho d'água das piscinas de recreação e aprendizagem contribuem para redução da perda de calor superficial para o ambiente e conseqüentemente na redução dos gastos com o consumo de energia elétrica para operação dos equipamentos.

Figura 36 - Gráfico comparativo de temperaturas d'água das piscinas, temperatura externa e consumo médio diário de energia no mês



Fonte – Elaborado pelo autor com base nas planilhas de controle diário da balneabilidade da água da piscina e de telemetria da UO (2020).

5.3. DEMANDA TÉRMICA

Baseado nos dados de consumo de energia elétrica dos equipamentos do sistema de aquecimento d'água das piscinas de aprendizagem e recreação, a tabela 5, apresenta os percentuais de utilização dos equipamentos para aquecimento d'água das piscinas, os dados refletem a proporção média diária de utilização dos equipamentos entre os meses de janeiro e dezembro.

Tabela 5 - Proporção de utilização dos equipamentos de aquecimento

| Mês de Referência | Proporção de Utilização - Média Diária do Mês | |
|-------------------|---|------------------------|
| | Bombas de Calor (%) | Aquecedor Elétrico (%) |
| Janeiro | 92 | 8 |
| Fevereiro | 91 | 9 |
| Março | 95 | 5 |
| Abril | 72 | 28 |
| Maio | 53 | 47 |
| Junho | 56 | 44 |
| Julho | 51 | 49 |
| Agosto | 58 | 42 |
| Setembro | 65 | 35 |
| Outubro | 74 | 26 |
| Novembro | 89 | 11 |
| Dezembro | 94 | 6 |

Fonte – Elaborado pelo autor com base nas planilhas do sistema de telemetria da UO (2020).

Com os parâmetros de utilização e das informações técnicas dos equipamentos é possível determinar a demanda média de energia térmica necessária para o sistema, considerando o aquecimento d'água das duas piscinas.

A partir dos dados de consumo médio diário de energia elétrica entre os meses de janeiro e dezembro, é possível determinar a demanda térmica média produzida pelas bombas de calor elétricas. O cálculo parte da aplicação da proporção de utilização dos equipamentos sobre o consumo médio diário de energia elétrica para cada mês e posteriormente a conversão para consumo médio diário de calorías. Após determinar o consumo médio diário de calorías, aplica-se o coeficiente de performance das bombas de calor elétricas existentes no período considerado

nas medições, ou seja, entre o mês de janeiro de 2016 e fevereiro de 2019. A tabela 6, apresenta os índices utilizados nos cálculos e a demanda térmica média produzida pelas bombas de calor elétricas para manter aquecida a água das piscinas dentro dos parâmetros.

Tabela 6 – Produção média de energia térmica pelas bombas de calor

| Bombas de Calor - Piscinas de Aprendizagem e Recreação | | | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------|---|
| Mês de Referência | Consumo Total Média Diária (kWh) | Proporção de Utilização | Consumo Total Média Diária (kWh) | Consumo Total Média Diária (kcal) | COP | Consumo Total Média Diária com COP (kcal) |
| Janeiro | 605 | 0,92 | 557 | 478.590 | 4,54 | 2.172.798 |
| Fevereiro | 763 | 0,91 | 694 | 597.016 | 4,54 | 2.710.454 |
| Março | 896 | 0,95 | 851 | 731.900 | 4,54 | 3.322.827 |
| Abril | 1.015 | 0,72 | 731 | 628.375 | 4,54 | 2.852.822 |
| Maió | 1.236 | 0,53 | 655 | 563.374 | 4,54 | 2.557.718 |
| Junho | 1.277 | 0,56 | 715 | 614.833 | 4,54 | 2.791.340 |
| Julho | 1.370 | 0,51 | 699 | 600.928 | 4,54 | 2.728.212 |
| Agosto | 1.389 | 0,58 | 806 | 692.708 | 4,54 | 3.144.897 |
| Setembro | 1.325 | 0,65 | 861 | 740.542 | 4,54 | 3.362.059 |
| Outubro | 1.089 | 0,74 | 806 | 692.915 | 4,54 | 3.145.833 |
| Novembro | 813 | 0,89 | 724 | 622.158 | 4,54 | 2.824.598 |
| Dezembro | 685 | 0,94 | 644 | 553.654 | 4,54 | 2.513.591 |

A tabela 7, apresenta os índices utilizados nos cálculos e a demanda térmica média produzida pelo aquecedor de passagem elétrico da piscina de recreação.

Tabela 7 – Produção média de energia térmica pelo aquecedor de passagem

| Aquecedor de Passagem - Piscina de Recreação | | | | |
|--|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Total Média Diária (kWh) | Proporção de Utilização | Consumo Total Média Diária (kWh) | Consumo Total Média Diária (kcal) |
| Janeiro | 605 | 0,08 | 48 | 41.617 |
| Fevereiro | 763 | 0,09 | 69 | 59.046 |
| Março | 896 | 0,05 | 45 | 38.521 |
| Abril | 1.015 | 0,28 | 284 | 244.368 |
| Maió | 1.236 | 0,47 | 581 | 499.596 |
| Junho | 1.277 | 0,44 | 562 | 483.083 |
| Julho | 1.370 | 0,49 | 671 | 577.362 |
| Agosto | 1.389 | 0,42 | 583 | 501.616 |
| Setembro | 1.325 | 0,35 | 464 | 398.753 |
| Outubro | 1.089 | 0,26 | 283 | 243.457 |
| Novembro | 813 | 0,11 | 89 | 76.896 |
| Dezembro | 685 | 0,06 | 41 | 35.340 |

A tabela 8, apresenta os valores médios de produção de energia térmica pelo sistema de aquecimento do cenário 1.

Tabela 8 – Produção média total de energia térmica

| Produção Total Média de Energia Térmica | | | |
|---|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Mês de Referência | Média Diária (kcal) | Média Diária (kcal/h) | Média Diária (kWt/h) |
| Janeiro | 2.214.414 | 92.267 | 111 |
| Fevereiro | 2.769.500 | 115.396 | 138 |
| Março | 3.361.348 | 140.056 | 168 |
| Abril | 3.097.190 | 129.050 | 155 |
| Maiο | 3.057.313 | 127.388 | 153 |
| Junho | 3.274.422 | 136.434 | 164 |
| Julho | 3.305.574 | 137.732 | 165 |
| Agosto | 3.646.513 | 151.938 | 182 |
| Setembro | 3.760.812 | 156.701 | 188 |
| Outubro | 3.389.290 | 141.220 | 169 |
| Novembro | 2.901.494 | 120.896 | 145 |
| Dezembro | 2.548.930 | 106.205 | 127 |

A demanda térmica necessária para o sistema de aquecimento da piscina de recreação é bem superior à piscina de aprendizagem, o volume de água a ser aquecida é de aproximadamente 420,00 m³ para piscina de recreação e de 33,00 m³ para piscina de aprendizagem.

Os parâmetros de temperatura d'água dos tanques são os mesmos e considerando a demanda média diária de consumo de energia elétrica aferida, é possível estabelecer para o dimensionamento, a proporção de 20% da demanda média térmica diária para a piscina de aprendizagem e 80% para a piscina de recreação, e a menor demanda média horária de energia térmica, com isso teremos 22,2 kWt e 88,8 kWt respectivamente.

5.4. DADOS TÉCNICOS

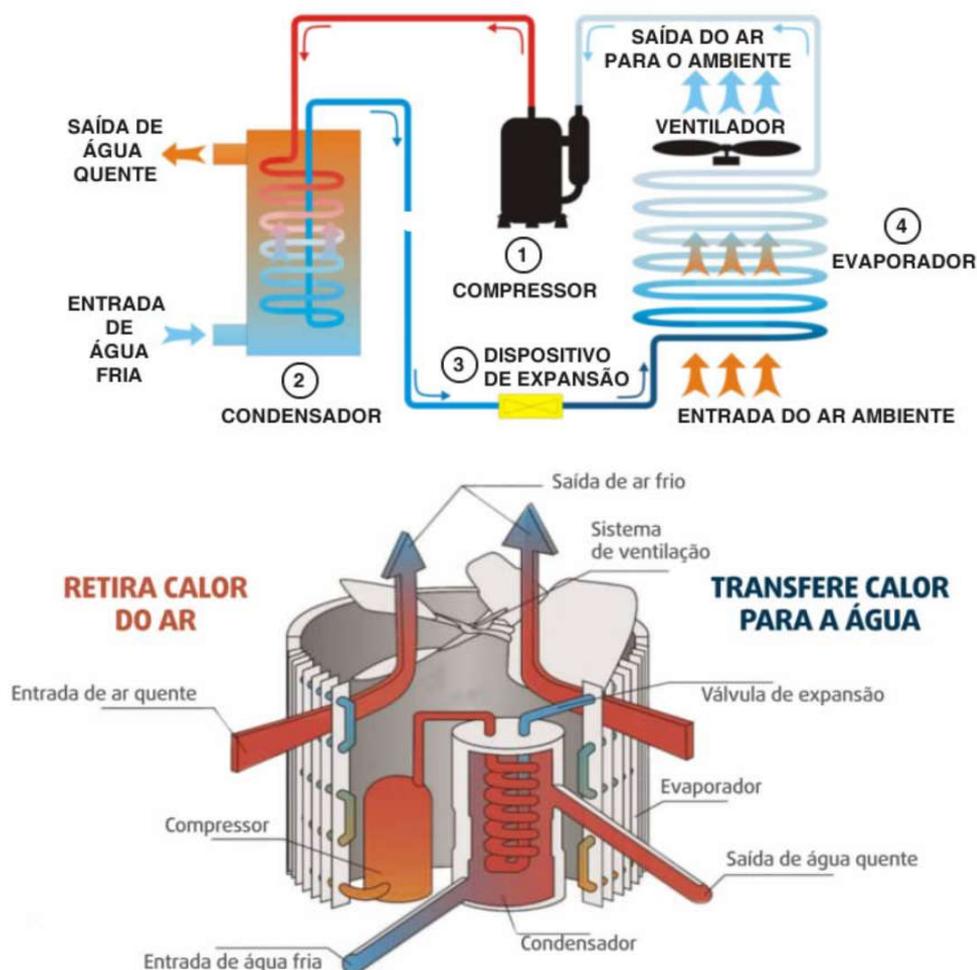
5.4.1. CENÁRIO 01

Os dados de consumo apurados são baseados nos equipamentos apresentados no fluxo de funcionamento das piscinas de aprendizagem e recreação. As bombas de calor elétricas são a fonte primária para aquecimento d'água das piscinas e o aquecedor elétrico de passagem a fonte secundária de aquecimento para água da piscina de recreação.

As bombas de calor elétricas apresentam rendimento superior aos aquecedores elétricos de passagem, em decorrência do seu coeficiente de performance (COP). Os aquecedores elétricos de passagem trabalham com resistências elétricas e a relação de transformação é de um para um, ou seja, para cada quilowatt-elétrico (kWe) consumido gera-se um quilowatt-térmico (kWt). As bombas de calor elétricas possuem COP que variam de 4,0 a 7,0 e assim, para cada quilowatt-elétrico (kWe) consumido gera-se entre 4,0 e 7,0 quilowatts-térmico (kWt).

No caso das bombas de calor, vale ressaltar que em decorrência do seu princípio de funcionamento, ilustrado na figura 37, a eficiência do equipamento está diretamente relacionada com a temperatura ambiente, já que o calor retirado do ar ambiente é transferido para água. A temperatura ambiente mínima de trabalho das bombas de calor é de 10 °C, e a eficiência será próxima do COP indicado pelos fabricantes, nas situações em que a temperatura ambiente for acima da temperatura do fluido que se deseja aquecer.

Figura 37 – Esquema de funcionamento de uma bomba de calor



A tabela 9, traz as especificações técnicas dos equipamentos utilizados no sistema de aquecimento da piscina de aprendizagem do cenário 01.

Tabela 9 - Especificações técnicas dos equipamentos

| Equipamentos - Piscina de Aprendizagem | |
|---|-------------------------|
| Tipo de Equipamento | Bomba de Calor Elétrica |
| Modelo | TP1000BM6 |
| Fabricante | Heliotek |
| Quantidade | 01 unidade |
| Capacidade Térmica do Equipamento | 18.000 kcal/h |
| Potência Elétrica | 4,61 kW |
| Coefficiente de Performance (COP) | 4,54 |
| Pressão Máxima de Trabalho (hidráulico) | 4 kgf/cm ² |
| Alimentação Elétrica | 220V - 3F - 60Hz |
| Corrente Nominal | 14,3 A |

A tabela 10, traz as especificações técnicas dos equipamentos utilizados no sistema de aquecimento da piscina de recreação do cenário 01.

Tabela 10 - Especificações técnicas dos equipamentos

| Equipamentos - Piscina de Recreação | | | | |
|---|-------------------------|-----------------------|---|--------------------------------|
| Tipo de Equipamento | Bomba de Calor Elétrica | | Tipo de Equipamento | Aquecedor Elétrico de Passagem |
| Modelo | TP1000BM6 | TP1000CAD | Modelo | ER-90 |
| Fabricante | Heliotek | Heliotek | Fabricante | Etna |
| Quantidade | 03 unidades | 03 unidades | Quantidade | 01 unidade |
| Capacidade Térmica do Equipamento | 18.000 kcal/h | 18.000 kcal/h | Potência Térmica | 77.400 kcal/h |
| Potência Elétrica | 4,61 kW | 4,61 kW | Potência Elétrica | 90 kW |
| Coefficiente de Performance (COP) | 4,54 | 4,54 | Produção Horária | 1.548 Lts/h |
| Pressão Máxima de Trabalho (hidráulico) | 4 kgf/cm ² | 4 kgf/cm ² | Pressão Máxima de Trabalho (hidráulico) | 4 kgf/cm ² |
| Alimentação Elétrica | 220V - 3F - 60Hz | 220V - 3F - 60Hz | Alimentação Elétrica | 220V - 3F - 60Hz |
| Corrente Nominal | 14,3 A | 14,3 A | Capacidade | 300 Lts. |

5.4.2. CENÁRIO 02

No cenário 02, os dados de consumo são baseados nas especificações dos fabricantes das bombas de calor elétricas, aquecedores de passagem a gás natural e trocadores de calor em placas. A piscina de aprendizagem conta com duas bombas de calor, dois aquecedores de passagem e um trocador de calor a placas abrasadas, a piscina de recreação com quatro bombas de calor elétricas, três aquecedores de passagem e trocador de calor a placas abrasadas.

A figura 38, ilustra as especificações das bombas de calor existentes da piscina de aprendizagem, a capacidade em aquecimento do equipamento é de 17.287 Watts/h.

Figura 38 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes



| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TROCADORES DE CALOR | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | SD25-A | SD40-A | SD60-A | SD60-B | SD130-C | SD160-A | SD160-B |
| Condensador | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio |
| Capac. em aquecimento Btu/h | 24.500 | 39.000 | 59.000 | 59.000 | 127.050 | 155.700 | 155.700 |
| Capac. em aquecimento Kcal/h | 6.187 | 9.848 | 14.899 | 14.899 | 32.083 | 39.318 | 39.318 |
| Capac. em aquecimento Watts/h | 7.178 | 11.427 | 17.287 | 17.287 | 37.225 | 45.167 | 45.167 |
| Tensão nominal de trabalho em volts | 220 | 220 | 220 | 220 | 380 | 220 | 380 |
| Faixa de tensão de trabalho em volts | 198-242 | 198-242 | 198-242 | 198-242 | 342-418 | 198-242 | 342-418 |
| Ligação elétrica | Bifasico | Bifasico | Bifasico | Trifasico | Trifasico | Trifasico | Trifasico |
| Potência nominal em Watts | 1500 | 1700 | 2800 | 2800 | 6600 | 7500 | 7500 |
| COP | 4.79 | 6.72 | 6.17 | 6.17 | 5.64 | 6.02 | 6.02 |

Fonte – Catálogo Sodramar (2021).

A figura 39, ilustra as especificações dos aquecedores de passagem a gás natural existentes da piscina de aprendizagem, a potência nominal do equipamento é de 32.061 kcal/h.

Figura 39 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes

REU - 1602 FEA

Características técnicas

| Características | GLP | GN |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Potência nominal | 37,8 kW 32465 kcal/h | 37,3 kW 32061 kcal/h |
| Rendimento | 84% | 84% |
| Dimensões (mm) AxDxP | 548x353x150 | |
| Peso | 14 kg | |
| Diâmetro da chaminé | Ø60 mm | |
| Consumo máximo gás | 2,74 kg/h | 3,37 m³/h |
| Entrada de gás | NM-ISO 7 - 1 R 1/2 | |
| Entrada/ saída de água | NM-ISO 7 - 1 R 1/2 | |
| Tensão Elétrica | 220/127V | |
| Vazão de água (no misturador) na condição padrão elevado a temperatura em Δt 20°C | 22,5 l/min | 22,5 l/min |
| Pressão mínima para funcionamento | 7 mca | |
| Pressão máxima | 60 mca | |
| Pressão ideal ¹ | 7 - 40 mca | |
| Vazão mínima para funcionamento | 3 l/min | |
| Pressão de gás | 280 mmca | 200 mmca |
| Consumo Elétrico | 86 W | |
| Consumo Elétrico Stand - by | 8 W | |

Uma aplicação de uso intenso é aquela onde é demandada alta temperatura, funcionamento contínuo por um longo período de tempo, grande volume de água simultânea ou outras condições adversas. Para atender a esse tipo de necessidade a Linha Heavy Duty é composta por produtos robustos e potentes, com ajustes particulares para estas especificações. O projeto e dimensionamento adequado destes sistemas são tão (ou mais) importantes que o próprio aparelho, e por isso a Rinnai conta com um time de especialistas técnicos para auxiliar neste serviço.

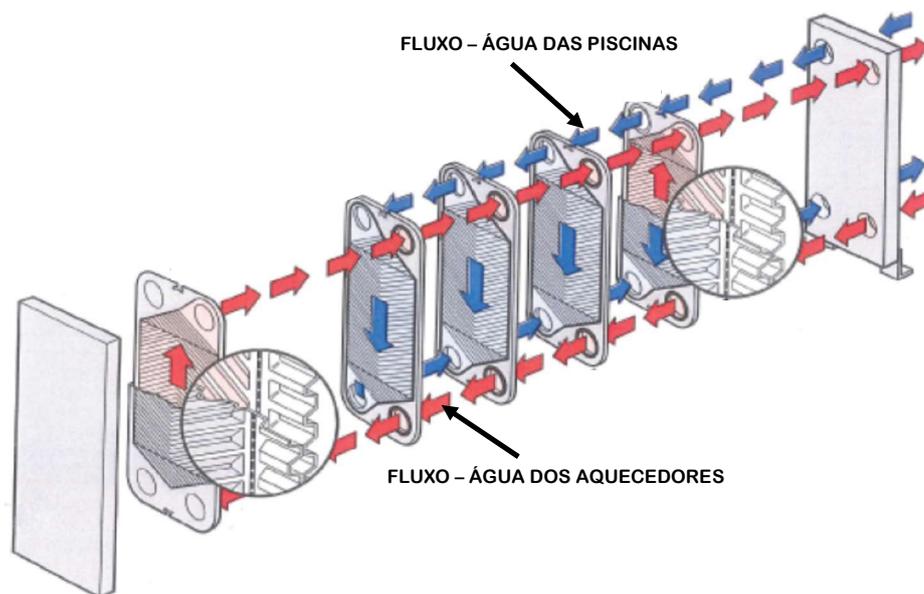
HEAVY DUTY

- Fabricado no Brasil
- Servoválvula
- Controle destacável
- Instalação externa²

Fonte – Catálogo Rinnai (2021).

A troca de calor entre a água que circula pelos aquecedores de passagem a gás natural e a água das piscinas, ocorre no interior dos trocadores de calor a placas brasadas, a figura 40, ilustra o fluxo de funcionamento do equipamento, com a intercalação de placas com fluxo de água dos aquecedores e das piscinas. O fluxo na cor azul, indica a água de retorno das piscinas com temperatura inferior ao fluxo na cor vermelha proveniente dos aquecedores.

Figura 40 – Fluxo de operação dos trocadores de calor a placas brasadas



Fonte – Catálogo Alfa Laval (2021).

A figura 41, ilustra as especificações do trocador de calor a placas da piscina de aprendizagem, a potência térmica de 47.200 kcal/h.

Figura 41 – Especificações técnicas do trocador de calor a placas brasadas

| DADOS TÉCNICOS | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|----------------|-------------------|------------------------|---------------|
| TIPO/ MODELO | A mm | B mm | C mm | D mm | E mm | F mm | Conex. Pol. | Nº Máx. Placas | Volume Litros/Canal | Peso em KG |
| K 030 | 80 | 194 | 40 | 154 | 20 | 10+2,25xN | 3/4" | 60 | 0,025 | 0,8+0,050xN |
| K 050 | 106 | 306 | 50 | 250 | 27 | 10+2,4xN | 1" | 100 | 0,056 | 1,5+0,135xN |
| K 070 | 124 | 304 | 70 | 250 | 27 | 10+2,4xN | 1" | 100 | 0,067 | 1,6+0,150xN |
| K 095 | 106 | 522 | 50 | 466 | 27 | 10+2,4xN | 1" | 120 | 0,100 | 3,1+0,220xN |
| K 105 | 124 | 504 | 64 | 444 | 27 | 10+2,4xN | 1 1/4" | 120 | 0,112 | 3,5+0,240xN |
| K 205 | 246 | 528 | 174 | 456 | 27 | 11,5+2,4xN | 2" | 160 | 0,234 | 7,2+0,520xN |
| K 210 | 245 | 527 | 148 | 430 | 42 | 11+2,85xN | 2 1/2" | 140 | 0,280 | 8,5+0,490xN |
| K 400 | 321 | 751 | 220 | 650 | 55 | 14+2,4xN | 3" | 210 | 0,414 | 15,4+0,89xN |

Fonte – Catálogo Apema (2021).

A figura 42, ilustra as especificações das bombas de calor existentes da piscina de recreação, a capacidade em aquecimento do equipamento é de 45.167 Watts/h.

Figura 42 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes



| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TROCADORES DE CALOR | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CARACTERÍSTICAS | SD25-A | SD40-A | SD60-A | SD60-B | SD130-C | SD160-A | SD160-B |
| Condensador | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio | Titânio |
| Capac. em aquecimento Btu/h | 24.500 | 39.000 | 59.000 | 59.000 | 127.050 | 155.700 | 155.700 |
| Capac. em aquecimento Kcal/h | 6.187 | 9.848 | 14.899 | 14.899 | 32.083 | 39.318 | 39.318 |
| Capac. em aquecimento Watts/h | 7.178 | 11.427 | 17.287 | 17.287 | 37.225 | 45.167 | 45.167 |
| Tensão nominal de trabalho em volts | 220 | 220 | 220 | 220 | 380 | 220 | 380 |
| Faixa de tensão de trabalho em volts | 198-242 | 198-242 | 198-242 | 198-242 | 342-418 | 198-242 | 342-418 |
| Ligação elétrica | Bifasico | Bifasico | Bifasico | Trifasico | Trifasico | Trifasico | Trifasico |
| Potência nominal em Watts | 1500 | 1700 | 2800 | 2800 | 6600 | 7500 | 7500 |
| COP | 4.79 | 6.72 | 6.17 | 6.17 | 5.64 | 6.02 | 6.02 |

Fonte – Catálogo Sodramar (2021).

A figura 43, ilustra as especificações dos aquecedores de passagem a gás natural existentes da piscina de recreação, a potência nominal do equipamento é de 48.558 kcal/h.

Figura 43 – Especificações técnicas das bombas de calor elétricas existentes

REU - 2802 FEC

Características técnicas

| Características | GLP | GN |
|---|--------------------------------------|--------------------------|
| Potência nominal | 57,3 kW 49.256 kcal/h | 56,5 kW 48.558 kcal/h |
| Rendimento | 86% | 86% |
| Dimensões (mm) AxLxP | 600x350x170 | |
| Peso | 17,5 kg | |
| Diâmetro da chaminé | Ø80 mm | |
| Consumo máximo gás | 416 kg/h | 510 m³/h |
| Entrada de gás | NM-ISO 7 - 1R 1/2 | NM-ISO7 - 1R3/4 |
| Entrada/ saída de água | NM-ISO 7 - 1R 3/4 | |
| Tensão Elétrica | 220/127 V (Chave Seletora de Tensão) | |
| Vazão de água (no misturador) na condição padrão elevado a temperatura em Δt 20°C | 35,5 l/min | 35 l/min |
| Pressão mínima para funcionamento | 4 mca | |
| Pressão máxima | 60 mca | |
| Pressão ideal ¹ | 7 - 40 mca | |
| Vazão mínima para funcionamento | 3l/min | |
| Pressão de gás | 280 mmca | 200 mmca |
| Consumo Elétrico | 89W | |

Uma aplicação de uso intenso é aquela onde é demandada alta temperatura, funcionamento contínuo por um longo período de tempo, grande volume de água simultânea ou outras condições adversas. Para atender a esse tipo de necessidade a Linha Heavy Duty é composta por produtos robustos e potentes, com ajustes particulares para estas especificações. O projeto e dimensionamento adequado destes sistemas são tão (ou mais) importantes que o próprio aparelho, e por isso a Rinnai conta com um time de especialistas técnicos para auxiliar neste serviço.

HEAVY DUTY

Também na cor Prata

Fabricado no Brasil

Servoválvula

Controle destacável

Instalação externa²



Fonte – Catálogo Rinnai (2021).

A figura 44, ilustra as especificações do trocador de calor a placas da piscina de recreação, a potência térmica de 135.900 kcal/h.

Figura 44 – Especificações técnicas do trocador de calor a placas brasadas

DADOS TÉCNICOS

| TIPO/ MODELO | A mm | B mm | C mm | D mm | E mm | F mm | Conex. Pol. | Nº Máx. Placas | Volume Litros/Canal | Peso em KG |
|--------------|------|------|------|------|------|------------|-------------|----------------|---------------------|-------------|
| K 030 | 80 | 194 | 40 | 154 | 20 | 10+2,25xN | 3/4" | 60 | 0,025 | 0,8+0,050xN |
| K 050 | 106 | 306 | 50 | 250 | 27 | 10+2,4xN | 1" | 100 | 0,056 | 1,5+0,135xN |
| K 070 | 124 | 304 | 70 | 250 | 27 | 10+2,4xN | 1" | 100 | 0,067 | 1,6+0,150xN |
| K 095 | 106 | 522 | 50 | 466 | 27 | 10+2,4xN | 1" | 120 | 0,100 | 3,1+0,220xN |
| K 105 | 124 | 504 | 64 | 444 | 27 | 10+2,4xN | 1 1/4" | 120 | 0,112 | 3,5+0,240xN |
| K 205 | 246 | 528 | 174 | 456 | 27 | 11,5+2,4xN | 2" | 160 | 0,234 | 7,2+0,520xN |
| K 210 | 245 | 527 | 148 | 430 | 42 | 11+2,85xN | 2 1/2" | 140 | 0,280 | 8,5+0,490xN |
| K 400 | 321 | 751 | 220 | 650 | 55 | 14+2,4xN | 3" | 210 | 0,414 | 15,4+0,89xN |



Fonte – Catálogo Apema (2021).

5.4.3. CENÁRIO 03

No cenário 03, a configuração para o sistema de aquecimento considera a substituição das bombas de calor elétricas pelas microturbinas e mantém os aquecedores de passagem a gás

natural existentes. Os dados são baseados nas especificações de consumo e capacidade de produção de energia térmica dos fabricantes e para o dimensionamento da microturbina, será considerada a menor demanda média diária de energia térmica e para os períodos em que ocorrer o acréscimo de demanda térmica, os aquecedores de passagem a gás natural serão acionados.

A capacidade das microturbinas foi selecionada em função da demanda térmica para aquecimento d'água das piscinas, a produção de energia elétrica suprirá parte da energia elétrica fornecida pela concessionária e o calor residual do processo será utilizado para aquecer a água das piscinas, caracterizando a cogeração do tipo *Tooping cycle*.

A microturbina C30 será utilizada no aquecimento da piscina de aprendizagem e a microturbina C65 para a piscina de recreação, a figura 45, ilustra as especificações das microturbinas para o sistema de aquecimento das piscinas.

Figura 45 – Especificações técnicas das microturbinas

| Modelo | Combustível | Potência Elétrica ⁽¹⁾ | Eficiência Elétrica | Vazão dos Gases de Escape | | Temperatura de Saída dos Gases | | Rendimento Térmico Líquido | | Dimensões ⁽²⁾ (Largura x Profundidade x Altura) | |
|---|---------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|-------|--------------------------------|-----|----------------------------|---------|---|----------------|
| | | kW | % | kg/s | lbm/s | C° | F° | MJ/kWh | btu/kWh | m | in |
| COMBUSTÍVEIS GASOSOS⁽³⁾ | | | | | | | | | | | |
| C30 LP | NG | 28 | 25 | 0.31 | 0.68 | 275 | 530 | 13.8 | 13,100 | 0.76 x 1.5 x 1.8 | 30 x 60 x 70 |
| C30 HP | NG, P, LG, DG | 30 | 26 | 0.31 | 0.68 | 275 | 530 | 13.8 | 13,100 | 0.76 x 1.5 x 1.8 | 30 x 60 x 70 |
| C30 HZLC ⁽⁴⁾ | NG | 30 | 26 | 0.22 | 0.70 | 275 | 530 | 13.8 | 13,100 | 0.87 x 2.0 x 2.2 | 34 x 112 x 85 |
| C65 | NG, P | 65 | 29 | 0.49 | 1.08 | 309 | 588 | 12.4 | 11,800 | 0.76 x 1.9 x 1.8 | 30 x 77 x 76 |
| C65 ICHP | NG, P, LG, DG | 65 | 29 | 0.49 | 1.08 | 309 | 588 | 12.4 | 11,800 | 0.76 x 2.2 x 2.4 | 30 x 87 x 93 |
| C65 CARB | NG | 65 | 28 | 0.51 | 1.13 | 311 | 592 | 12.9 | 12,200 | 0.76 x 2.2 x 2.6 | 30 x 87 x 103 |
| C65 CARB | LG, DG | 65 | 29 | 0.49 | 1.08 | 309 | 588 | 12.4 | 11,800 | 0.76 x 2.2 x 2.6 | 30 x 77 x 85 |
| C65 HZLC ⁽⁴⁾ | NG | 65 | 29 | 0.50 | 1.09 | 325 | 617 | 12.9 | 12,200 | 0.87 x 3.2 x 2.3 | 35 x 128 x 90 |
| C200 LP | NG | 190 | 31 | 1.3 | 2.9 | 280 | 535 | 11.6 | 11,000 | 1.7 x 3.8 x 2.5 | 67 x 150 x 98 |
| C200 HP | NG, P, LG, DG | 200 | 33 | 1.3 | 2.9 | 280 | 535 | 10.9 | 10,300 | 1.7 x 3.8 x 2.5 | 67 x 150 x 98 |
| C200 HZLC ⁽⁴⁾ | NG | 200 | 33 | 1.3 | 2.9 | 280 | 535 | 10.9 | 10,300 | 1.9 x 3.2 x 3.1 | 74 x 126 x 122 |
| C600 LP | NG | 570 | 31 | 4.0 | 8.8 | 280 | 535 | 11.6 | 11,000 | 2.4 x 9.1 x 2.9 | 96 x 360 x 114 |
| C600 HP | NG, P, LG, DG | 600 | 33 | 4.0 | 8.8 | 280 | 535 | 10.9 | 10,300 | 2.4 x 9.1 x 2.9 | 96 x 360 x 114 |
| C800 LP | NG | 760 | 31 | 5.3 | 11.7 | 280 | 535 | 11.6 | 11,000 | 2.4 x 9.1 x 2.9 | 96 x 360 x 114 |
| C800 HP | NG, P, LG, DG | 800 | 33 | 5.3 | 11.7 | 280 | 535 | 10.9 | 10,300 | 2.4 x 9.1 x 2.9 | 96 x 360 x 114 |
| C1000 LP | NG | 950 | 31 | 6.7 | 14.7 | 280 | 535 | 11.6 | 11,000 | 2.4 x 9.1 x 2.9 | 96 x 360 x 114 |
| C1000 HP | NG, P, LG, DG | 1000 | 33 | 6.7 | 14.7 | 280 | 535 | 10.9 | 10,300 | 2.4 x 9.1 x 2.9 | 96 x 360 x 114 |

Fonte – Catálogo Capstone (2021).

A tabela 11, apresenta a eficiência das microturbinas do fabricante Capstone, modelos C30 e C65, com base nos dados extraídos da ficha técnica dos equipamentos. O modelo proposto para piscina de aprendizagem é o C30 e para piscina de recreação o modelo C65. O fator de correção é aplicado em função da temperatura e altitude do local de instalação do equipamento comparado aos valores padrão do fabricante.

Tabela 11 – Cálculo do rendimento das microturbinas

| Capstone C30 | | | Capstone C65 | | |
|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| Correção | | 0,948 | Correção | | 0,948 |
| | ISO | SP | | ISO | SP |
| Ee | 28 kW | 27 kW | Ee | 65 kW | 62 kW |
| η_e | 26% | | η_e | 29% | |
| EGN | 108 kW | 102 kW | EGN | 224 kW | 212 kW |
| η_t | 46% | | η_t | 43% | |
| Et | 50 kW | 46 kW | Et | 96 kW | 91 kW |
| Perdas | 28% | | Perdas | 28% | |
| Ep | 30 kW | 29 kW | Ep | 63 kW | 59 kW |

Fonte – Catálogo Capstone (2021).

Onde:

Ee – Potência elétrica

η_e – Rendimento elétrico.

EGN – Energia do gás natural

η_t – Rendimento térmico.

Et – Potência térmica

Ep – Potência das perdas.

A figura 46, ilustra a microturbina Capstone C65, indicando na parte inferior da vista oposta, a entrada do combustível e a saída da energia elétrica produzida, na parte superior estão o recuperador de calor e a exaustão dos gases.

Os equipamentos apresentam como opcional o recuperador de calor integrado, propiciando redução na utilização do espaço no local de instalação, considerando o espaço a ser disponibilizado para a instalação de outro equipamento para realizar a recuperação de calor.

Figura 46 - Imagem da microturbina Capstone C65



Fonte – Catálogo Capstone C65 (2021).

Os dados de rendimento das microturbinas possibilitam a realização do balanço energético do sistema, cabe ressaltar que nos cálculos a disponibilidade da turbina é de 95%, pois deve ser considerada as paradas do equipamento para execução das manutenções preventivas e corretivas.

Nos cálculos o Poder Calorífico Inferior (PCI) adotado do gás natural é de 8.560 kcal/m³, a tabela 12, apresenta o balanço energético para o sistema, com os resultados para potência elétrica gerada, a potência térmica gerada, a potência térmica utilizada para água quente e as perdas totais do sistema.

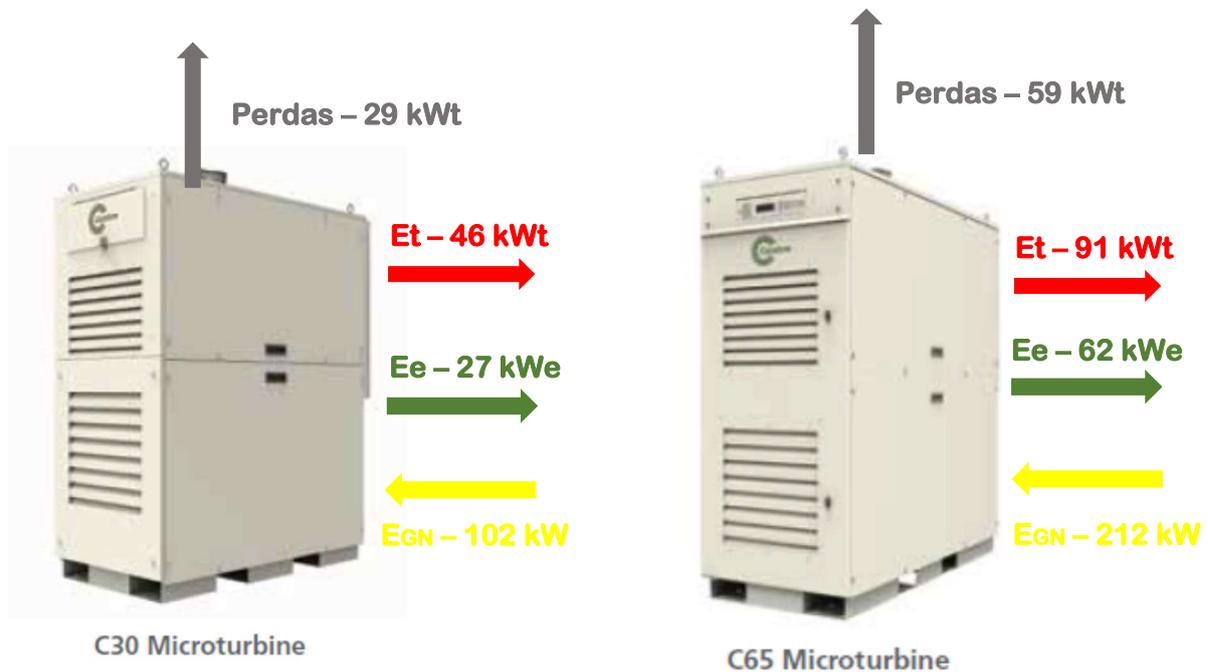
Tabela 12 - Balanço energético

| Balanço Energético - Capstone C30 | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Disponibilidade | 95 % |
| Microturbina | 1 x C30 |
| Potência Elétrica Gerada | 27 kWe |
| Eficiência Elétrica | 26 % |
| Energia de Entrada do Gás Natural | 102 kW |
| PCI do Gás Natural | 8.560 kcal/m ³ |
| Rendimento Térmico Líquido | 14,4 MJ/kWh |
| Vazão de Gás Natural | 10,85 m ³ /h |
| Eficiência Térmica | 46 % |
| Potência Térmica Gerada | 46 kWt |
| Perdas | 28 % |
| Potência Térmica Perdida | 29 kWt |

| Balanço Energético - Capstone C65 | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Disponibilidade | 95 % |
| Microturbina | 1 x C65 |
| Potência Elétrica Gerada | 62 kWe |
| Eficiência Elétrica | 29 % |
| Energia de Entrada do Gás Natural | 212 kW |
| PCI do Gás Natural | 8.560 kcal/m ³ |
| Rendimento Térmico Líquido | 12,4 MJ/kWh |
| Vazão de Gás Natural | 21,46 m ³ /h |
| Eficiência Térmica | 43 % |
| Potência Térmica Gerada | 91 kWt |
| Perdas | 28 % |
| Potência Térmica Perdida | 59 kWt |

A figura 47, ilustra a configuração da cogeração proposta, considerando as demandas necessárias para operação do sistema de aquecimento das piscinas, com a necessidade de produção de 111 kWt para atender a menor demanda térmica horária, a configuração pode gerar até 89 kWe de potência elétrica.

Figura 47 - Configuração da cogeração



A partir dos cálculos e da configuração da cogeração é calculado o Fator de Utilização de Energia (FUE) das microturbinas C30 e C65 da Capstone, com a aplicação da equação 2.1, respectivamente:

$$W = 27 \text{ kW}$$

$$Qu = 46 \text{ kW}$$

$$Q_{comb} = 102 \text{ kW} \quad FUE = \frac{Qu+W}{M_{Comb} \times PCI} = 72\%$$

$$W = 62 \text{ kW}$$

$$Qu = 91 \text{ kW}$$

$$Q_{comb} = 212 \text{ kW} \quad FUE = \frac{Qu+W}{M_{Comb} \times PCI} = 72\%$$

Na configuração da cogeração o sistema deve ser viável e, para tal, é necessário verificar se cumpre os requisitos para ser considerada qualificada, para tanto deve atender os percentuais das equações 1.1 e 1.2:

$$Ef = 102 \text{ kWh/h}$$

$$Ee = 27 \text{ kWh/h}$$

$$Et = 46 \text{ kWh/h}$$

$$X = 2,14$$

$$Fc = 41\%$$

$$45\% = \frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad \text{Cumprir Requisito (a)}$$

$$48\% = \left(\frac{Et}{Ef} \right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc \% \quad \text{Cumprir Requisito (b)}$$

Portanto, como a cogeração cumpre os requisitos, podemos classificá-la como qualificada pela ANEEL.

$$Ef = 212 \text{ kWh/h}$$

$$Ee = 62 \text{ kWh/h}$$

$$Et = 91 \text{ kWh/h}$$

$$X = 2,14$$

$$Fc = 41\%$$

$$43\% = \frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad \text{Cumprir Requisito (a)}$$

$$49\% = \left(\frac{Et}{Ef} \right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc \% \quad \text{Cumprir Requisito (b)}$$

Portanto, como a cogeração cumpre os requisitos, podemos classificá-la como qualificada pela ANEEL.

5.5. PREMISSAS DE CONSUMO

5.5.1. CENÁRIO 01

A determinação das demandas de energia elétrica e térmica, as especificações e os índices de rendimento dos equipamentos possibilitam determinar os consumos de energia elétrica e de gás natural para os três cenários.

No cenário 01 a fonte de energia é a energia elétrica e o aquecimento ser divide entre as bombas de calor e o aquecedor elétrico, a tabela 13, ilustra o consumo médio diário de energia elétrica.

Tabela 13 - Consumo médio diário de energia das bombas de calor e aquecedor de passagem elétricos

| CENÁRIO 01 | | | | | |
|-------------------|--|---------------------|--|--------------------------------|--|
| Mês de Referência | Consumo Fora de Ponta Média Diária (kWh) | Bombas de Calor | | Aquecedor de Passagem Elétrico | |
| | | Fator de Utilização | Consumo Médio Diário de Energia Elétrica (kWh) | Fator de Utilização | Consumo Médio Diário de Energia Elétrica (kWh) |
| Janeiro | 605 | 0,92 | 557 | 0,08 | 48 |
| Fevereiro | 763 | 0,91 | 694 | 0,09 | 69 |
| Março | 896 | 0,95 | 851 | 0,05 | 45 |
| Abril | 1.015 | 0,72 | 731 | 0,28 | 284 |
| Mai | 1.236 | 0,53 | 655 | 0,47 | 581 |
| Junho | 1.277 | 0,56 | 715 | 0,44 | 562 |
| Julho | 1.370 | 0,51 | 699 | 0,49 | 671 |
| Agosto | 1.389 | 0,58 | 806 | 0,42 | 583 |
| Setembro | 1.325 | 0,65 | 861 | 0,35 | 464 |
| Outubro | 1.089 | 0,74 | 806 | 0,26 | 283 |
| Novembro | 813 | 0,89 | 724 | 0,11 | 89 |
| Dezembro | 685 | 0,94 | 644 | 0,06 | 41 |

A tabela 14, ilustra a produção de energia térmica média horária das bombas de calor e aquecedores de passagem do cenário 01, para o aquecimento das piscinas de recreação e de aprendizagem.

Tabela 14 – Produção de energia térmica média das bombas de calor e aquecedor de passagem elétricos

| CENÁRIO 01 | | | | | |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Mês de Referência | Produção Térmica Média Diária (kWt/h) | Bombas de Calor | | Aquecedor de Passagem Elétrico | |
| | | Fator de Utilização | Produção Térmica Média Diária (kWt/h) | Fator de Utilização | Produção Térmica Média Diária (kWt/h) |
| Janeiro | 111 | 0,92 | 102 | 0,08 | 9 |
| Fevereiro | 138 | 0,91 | 126 | 0,09 | 12 |
| Março | 168 | 0,95 | 160 | 0,05 | 8 |
| Abril | 155 | 0,72 | 111 | 0,28 | 43 |
| Mai | 153 | 0,53 | 81 | 0,47 | 72 |
| Junho | 164 | 0,56 | 92 | 0,44 | 72 |
| Julho | 165 | 0,51 | 84 | 0,49 | 81 |
| Agosto | 182 | 0,58 | 106 | 0,42 | 77 |
| Setembro | 188 | 0,65 | 122 | 0,35 | 66 |
| Outubro | 169 | 0,74 | 125 | 0,26 | 44 |
| Novembro | 145 | 0,89 | 129 | 0,11 | 16 |
| Dezembro | 127 | 0,94 | 120 | 0,06 | 8 |

5.5.2. CENÁRIO 02

No cenário 2, o fator de utilização dos equipamentos é similar ao cenário 01, as bombas de calor operam como fonte primária de energia térmica e os aquecedores de passagem a gás natural com fonte secundária.

A maior eficiência das bombas de calor elétricas reduz o consumo médio diário de energia elétrica para produção da energia térmica, na primeira etapa do processo de aquecimento d'água das piscinas, a tabela 15, ilustra o consumo de energia dos equipamentos.

Tabela 15 – Consumo médio diário de energia elétrica das bombas de calor das piscinas

| CENÁRIO 02 - Piscina de Aprendizagem | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|------|-----------------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário (kcal) | Bombas de Calor | | | |
| | | Fator de Utilização | Proporção da Demanda Térmica | COP | Consumo de Energia Elétrica (kWh) |
| Janeiro | 2.172.798 | 0,92 | 0,20 | 6,17 | 75 |
| Fevereiro | 2.710.454 | 0,91 | 0,20 | 6,17 | 93 |
| Março | 3.322.827 | 0,95 | 0,20 | 6,17 | 119 |
| Abril | 2.852.822 | 0,72 | 0,20 | 6,17 | 77 |
| Maio | 2.557.718 | 0,53 | 0,20 | 6,17 | 51 |
| Junho | 2.791.340 | 0,56 | 0,20 | 6,17 | 59 |
| Julho | 2.728.212 | 0,51 | 0,20 | 6,17 | 52 |
| Agosto | 3.144.897 | 0,58 | 0,20 | 6,17 | 69 |
| Setembro | 3.362.059 | 0,65 | 0,20 | 6,17 | 82 |
| Outubro | 3.145.833 | 0,74 | 0,20 | 6,17 | 88 |
| Novembro | 2.824.598 | 0,89 | 0,20 | 6,17 | 95 |
| Dezembro | 2.513.591 | 0,94 | 0,20 | 6,17 | 89 |

| CENÁRIO 02 - Piscina de Recreação | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------------|------|-----------------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário (kcal) | Bombas de Calor | | | |
| | | Fator de Utilização | Proporção da Demanda Térmica | COP | Consumo de Energia Elétrica (kWh) |
| Janeiro | 2.172.798 | 0,92 | 0,80 | 6,02 | 309 |
| Fevereiro | 2.710.454 | 0,91 | 0,80 | 6,02 | 381 |
| Março | 3.322.827 | 0,95 | 0,80 | 6,02 | 488 |
| Abril | 2.852.822 | 0,72 | 0,80 | 6,02 | 317 |
| Maio | 2.557.718 | 0,53 | 0,80 | 6,02 | 210 |
| Junho | 2.791.340 | 0,56 | 0,80 | 6,02 | 242 |
| Julho | 2.728.212 | 0,51 | 0,80 | 6,02 | 215 |
| Agosto | 3.144.897 | 0,58 | 0,80 | 6,02 | 282 |
| Setembro | 3.362.059 | 0,65 | 0,80 | 6,02 | 338 |
| Outubro | 3.145.833 | 0,74 | 0,80 | 6,02 | 360 |
| Novembro | 2.824.598 | 0,89 | 0,80 | 6,02 | 389 |
| Dezembro | 2.513.591 | 0,94 | 0,80 | 6,02 | 365 |

O complemento do aquecimento será realizado pelos aquecedores de passagem a gás natural, a tabela 16, ilustra o consumo de gás necessário para realizar o processo. Neste cenário os aquecedores de passagem substituem o aquecedor de passagem elétrico.

Tabela 16 – Consumo médio diário de gás natural dos aquecedores de passagem

| CENÁRIO 02 - Piscina de Aprendizagem | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário (kcal) | Média Diária (kcal/h) | Aquecedores de Passagem Gás Natural | | |
| | | | Proporção da Demanda Térmica | Média Diária (kcal/h) | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m ³) |
| Janeiro | 41.617 | 1.734 | 0,20 | 347 | 0,87 |
| Fevereiro | 59.046 | 2.460 | 0,20 | 492 | 1,24 |
| Março | 38.521 | 1.605 | 0,20 | 321 | 0,81 |
| Abril | 244.368 | 10.182 | 0,20 | 2.036 | 5,14 |
| Mai | 499.596 | 20.816 | 0,20 | 4.163 | 10,50 |
| Junho | 483.083 | 20.128 | 0,20 | 4.026 | 10,16 |
| Julho | 577.362 | 24.057 | 0,20 | 4.811 | 12,14 |
| Agosto | 501.616 | 20.901 | 0,20 | 4.180 | 10,55 |
| Setembro | 398.753 | 16.615 | 0,20 | 3.323 | 8,38 |
| Outubro | 243.457 | 10.144 | 0,20 | 2.029 | 5,12 |
| Novembro | 76.896 | 3.204 | 0,20 | 641 | 1,62 |
| Dezembro | 35.340 | 1.472 | 0,20 | 294 | 0,74 |

| CENÁRIO 02 - Piscina de Recreação | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário (kcal) | Média Diária (kcal/h) | Aquecedores de Passagem Gás Natural | | |
| | | | Proporção da Demanda Térmica | Média Diária (kcal/h) | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m ³) |
| Janeiro | 41.617 | 1.734 | 0,80 | 1.387 | 3,50 |
| Fevereiro | 59.046 | 2.460 | 0,80 | 1.968 | 4,96 |
| Março | 38.521 | 1.605 | 0,80 | 1.284 | 3,24 |
| Abril | 244.368 | 10.182 | 0,80 | 8.146 | 20,53 |
| Mai | 499.596 | 20.816 | 0,80 | 16.653 | 41,98 |
| Junho | 483.083 | 20.128 | 0,80 | 16.103 | 40,59 |
| Julho | 577.362 | 24.057 | 0,80 | 19.245 | 48,51 |
| Agosto | 501.616 | 20.901 | 0,80 | 16.721 | 42,15 |
| Setembro | 398.753 | 16.615 | 0,80 | 13.292 | 33,50 |
| Outubro | 243.457 | 10.144 | 0,80 | 8.115 | 20,46 |
| Novembro | 76.896 | 3.204 | 0,80 | 2.563 | 6,46 |
| Dezembro | 35.340 | 1.472 | 0,80 | 1.178 | 2,97 |

5.5.3. CENÁRIO 03

No cenário 3, o fator de utilização dos equipamentos é baseado na disponibilidade de fornecimento de energia térmica das microturbinas no processo. As microturbinas operam como fonte primária de energia térmica e os aquecedores de passagem a gás natural com fonte

secundária. A tabela 17, ilustra o consumo de gás natural das microturbinas para produção de energia térmica.

Tabela 17 – Consumo médio diário de gás natural das microturbinas

| CENÁRIO 03 - Piscina de Aprendizagem | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|
| Mês de Referência | Consumo Total Médio Diário (kcal) | Consumo Total Médio Diário (kcal/h) | Proporção da Demanda Térmica | Consumo Médio Diário (kcal/h) | Microturbina | |
| | | | | | Produção Térmica Diária (kcal/h) | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m³) |
| Janeiro | 2.214.414 | 92.267 | 0,20 | 18.453 | 39.553 | 260,40 |
| Fevereiro | 2.769.500 | 115.396 | 0,20 | 23.079 | 39.553 | 260,40 |
| Março | 3.361.348 | 140.056 | 0,20 | 28.011 | 39.553 | 260,40 |
| Abril | 3.097.190 | 129.050 | 0,20 | 25.810 | 39.553 | 260,40 |
| Mai | 3.057.313 | 127.388 | 0,20 | 25.478 | 39.553 | 260,40 |
| Junho | 3.274.422 | 136.434 | 0,20 | 27.287 | 39.553 | 260,40 |
| Julho | 3.305.574 | 137.732 | 0,20 | 27.546 | 39.553 | 260,40 |
| Agosto | 3.646.513 | 151.938 | 0,20 | 30.388 | 39.553 | 260,40 |
| Setembro | 3.760.812 | 156.701 | 0,20 | 31.340 | 39.553 | 260,40 |
| Outubro | 3.389.290 | 141.220 | 0,20 | 28.244 | 39.553 | 260,40 |
| Novembro | 2.901.494 | 120.896 | 0,20 | 24.179 | 39.553 | 260,40 |
| Dezembro | 2.548.930 | 106.205 | 0,20 | 21.241 | 39.553 | 260,40 |
| CENÁRIO 03 - Piscina de Recreação | | | | | | |
| Mês de Referência | Consumo Total Médio Diário (kcal) | Consumo Total Médio Diário (kcal/h) | Proporção da Demanda Térmica | Consumo Médio Diário (kcal/h) | Microturbina | |
| | | | | | Produção Térmica Diária (kcal/h) | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m³) |
| Janeiro | 2.214.414 | 92.267 | 0,80 | 73.814 | 78.246 | 515,04 |
| Fevereiro | 2.769.500 | 115.396 | 0,80 | 92.317 | 78.246 | 515,04 |
| Março | 3.361.348 | 140.056 | 0,80 | 112.045 | 78.246 | 515,04 |
| Abril | 3.097.190 | 129.050 | 0,80 | 103.240 | 78.246 | 515,04 |
| Mai | 3.057.313 | 127.388 | 0,80 | 101.910 | 78.246 | 515,04 |
| Junho | 3.274.422 | 136.434 | 0,80 | 109.147 | 78.246 | 515,04 |
| Julho | 3.305.574 | 137.732 | 0,80 | 110.186 | 78.246 | 515,04 |
| Agosto | 3.646.513 | 151.938 | 0,80 | 121.550 | 78.246 | 515,04 |
| Setembro | 3.760.812 | 156.701 | 0,80 | 125.360 | 78.246 | 515,04 |
| Outubro | 3.389.290 | 141.220 | 0,80 | 112.976 | 78.246 | 515,04 |
| Novembro | 2.901.494 | 120.896 | 0,80 | 96.716 | 78.246 | 515,04 |
| Dezembro | 2.548.930 | 106.205 | 0,80 | 84.964 | 78.246 | 515,04 |

A demanda térmica média diária para piscina de aprendizagem será atendida pela microturbina, para piscina de recreação no mês de janeiro a demanda térmica diária é atendida

pela microturbina, nos demais meses a complementação será com os aquecedores de passagem a gás natural, a tabela 18, ilustra o consumo de gás natural.

Tabela 18 – Consumo médio diário de gás natural dos aquecedores de passagem

| CENÁRIO 03 - Piscina de Recreação | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário (kcal/h) | Aquecedores a Gás Natural |
| | | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m ³) |
| Janeiro | 73.814 | - |
| Fevereiro | 92.317 | 35,47 |
| Março | 112.045 | 85,20 |
| Abril | 103.240 | 63,00 |
| Maio | 101.910 | 59,65 |
| Junho | 109.147 | 77,89 |
| Julho | 110.186 | 80,51 |
| Agosto | 121.550 | 109,16 |
| Setembro | 125.360 | 118,76 |
| Outubro | 112.976 | 87,54 |
| Novembro | 96.716 | 46,56 |
| Dezembro | 84.964 | 16,93 |

A produção de energia térmica pelas turbinas é rejeito do processo de produção de energia elétrica, cada equipamento produz diariamente uma demanda de energia elétrica que será utilizada na alimentação de equipamentos do edifício, a tabela 19, apresenta a produção média diária dos equipamentos.

Tabela 19 – Produção média diária de energia elétrica

| Microturbina - C30 | | | Microturbina - C65 | | |
|--------------------|---|-------------|--------------------|---|-------------|
| Mês de Referência | Produção de Energia Elétrica Média Diária | | Mês de Referência | Produção de Energia Elétrica Média Diária | |
| | Fora de Ponta (kWh) | Ponta (kWh) | | Fora de Ponta (kWh) | Ponta (kWh) |
| Janeiro | 567 | 81 | Janeiro | 1.302 | 186 |
| Fevereiro | 567 | 81 | Fevereiro | 1.302 | 186 |
| Março | 567 | 81 | Março | 1.302 | 186 |
| Abril | 567 | 81 | Abril | 1.302 | 186 |
| Maio | 567 | 81 | Maio | 1.302 | 186 |
| Junho | 567 | 81 | Junho | 1.302 | 186 |
| Julho | 567 | 81 | Julho | 1.302 | 186 |
| Agosto | 567 | 81 | Agosto | 1.302 | 186 |
| Setembro | 567 | 81 | Setembro | 1.302 | 186 |
| Outubro | 567 | 81 | Outubro | 1.302 | 186 |
| Novembro | 567 | 81 | Novembro | 1.302 | 186 |
| Dezembro | 567 | 81 | Dezembro | 1.302 | 186 |

5.6. ANÁLISE FINANCEIRA

A análise financeira compara os custos de operação do sistema de aquecimento dos três cenários apresentados nos itens 4.4, 4.5 e 4.6. A base de cálculo tem com parâmetro inicial os dados reais de consumo do cenário 01, os dados técnicos de consumo dos equipamentos fornecidos pelos fabricantes para os cenários 2 e 3.

Nos estudos de implantação da cogeração é comum acontecer a alteração da modalidade tarifária de energia de energia elétrica do empreendimento, passando da Azul para Verde. A tarifa Verde incentiva o consumo de energia elétrica fora do horário de ponta e cobra um valor único para demanda em todos os horários.

Neste estudo não será considerada a alteração tendo em vista que a modalidade tarifária praticada no empreendimento é a Verde.

5.6.1. CENÁRIO 01

A tabela 20, apresenta os cálculos dos custos com a operação do sistema de aquecimento do cenário 01, em que todos os equipamentos utilizam como fonte de energia a energia elétrica fornecida pela concessionária Enel, os valores foram baseados nas tarifas cobradas pela empresa na fatura do mês de março de 2021. A composição dos valores representa o custo de operação do sistema para a diária média entre os meses de janeiro e dezembro, os valores já incluem os impostos, conforme descrição da fatura da concessionária.

Tabela 20 - Cálculo dos custos de operação dos equipamentos de aquecimento do cenário 01

| CENÁRIO 01 | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Total Média Diária (kWh) | Consumo Fora de Ponta Média Diária (kWh) | Consumo Ponta Média Diária (kWh) | Custos com Impostos (R\$) | | | | Custo Média Diária (R\$) |
| | | | | Demanda de Ponta TUSD | Demanda de Ponta TE | Demanda Fora de Ponta TUSD | Demanda Fora de Ponta TE | |
| Janeiro | 605 | 522 | 83 | 1,41 | 0,47 | 0,11 | 0,29 | 364 |
| Fevereiro | 763 | 678 | 85 | | | | | 430 |
| Março | 896 | 810 | 86 | | | | | 485 |
| Abril | 1.015 | 929 | 86 | | | | | 533 |
| Maio | 1.236 | 978 | 258 | | | | | 876 |
| Junho | 1.277 | 1.025 | 252 | | | | | 883 |
| Julho | 1.370 | 1.175 | 195 | | | | | 836 |
| Agosto | 1.389 | 1.115 | 274 | | | | | 960 |
| Setembro | 1.325 | 1.053 | 272 | | | | | 931 |
| Outubro | 1.089 | 970 | 119 | | | | | 611 |
| Novembro | 813 | 663 | 150 | | | | | 546 |
| Dezembro | 685 | 598 | 87 | | | | | 403 |

5.6.2. CENÁRIO 02

No cenário 02, os custos compreendem os valores referente ao consumo de energia elétrica e gás natural. Os valores para energia elétrica foram baseados nas tarifas cobradas pela concessionária Enel, e os valores cobrados para o fornecimento do m³ de gás natural são baseados na Deliberação ARSESP, nº 1.136, de 25 de fevereiro de 2021, incluindo o ICMS. A tabela 21, ilustra os custos com o consumo de energia elétrica para operação das bombas de calor elétricas do sistema de aquecimento do cenário 02.

Tabela 21 - Cálculo dos custos de operação das bombas de calor elétricas do cenário 02

| CENÁRIO 02 - Piscina de Aprendizagem - Bombas de Calor Elétricas | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Total - Média Diária (kWh) | Consumo Fora de Ponta Média Diária (kWh) | Consumo Ponta Média Diária (kWh) | Custos com Impostos (R\$) | | | | Custo Média Diária (R\$) |
| | | | | Demanda de Ponta TUSD | Demanda de Ponta TE | Demanda Fora de Ponta TUSD | Demanda Fora de Ponta TE | |
| Janeiro | 75 | 65 | 10 | 1,41 | 0,47 | 0,11 | 0,29 | 45 |
| Fevereiro | 93 | 83 | 10 | | | | | 52 |
| Março | 119 | 108 | 11 | | | | | 64 |
| Abril | 77 | 71 | 7 | | | | | 41 |
| Maió | 51 | 40 | 11 | | | | | 36 |
| Junho | 59 | 47 | 12 | | | | | 41 |
| Julho | 52 | 45 | 7 | | | | | 32 |
| Agosto | 69 | 55 | 14 | | | | | 48 |
| Setembro | 82 | 65 | 17 | | | | | 58 |
| Outubro | 88 | 78 | 10 | | | | | 49 |
| Novembro | 95 | 77 | 17 | | | | | 64 |
| Dezembro | 89 | 78 | 11 | | | | | 52 |

| CENÁRIO 02 - Piscina de Recreação - Bombas de Calor Elétricas | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Total - Média Diária (kWh) | Consumo Fora de Ponta Média Diária (kWh) | Consumo Ponta Média Diária (kWh) | Custos com Impostos (R\$) | | | | Custo Média Diária (R\$) |
| | | | | Demanda de Ponta TUSD | Demanda de Ponta TE | Demanda Fora de Ponta TUSD | Demanda Fora de Ponta TE | |
| Janeiro | 309 | 267 | 42 | 1,41 | 0,47 | 0,11 | 0,29 | 186 |
| Fevereiro | 381 | 339 | 42 | | | | | 215 |
| Março | 488 | 441 | 47 | | | | | 264 |
| Abril | 317 | 290 | 27 | | | | | 167 |
| Maió | 210 | 166 | 44 | | | | | 148 |
| Junho | 242 | 194 | 48 | | | | | 167 |
| Julho | 215 | 184 | 31 | | | | | 131 |
| Agosto | 282 | 226 | 56 | | | | | 195 |
| Setembro | 338 | 268 | 69 | | | | | 237 |
| Outubro | 360 | 320 | 39 | | | | | 202 |
| Novembro | 389 | 317 | 72 | | | | | 261 |
| Dezembro | 365 | 319 | 47 | | | | | 215 |

A tabela 22, ilustra os custos com o consumo de gás natural para operação dos aquecedores de passagem a gás natural do sistema de aquecimento do cenário 02.

Tabela 22 - Cálculo dos custos de operação dos aquecedores de passagem a gás natural do cenário 02

| CENÁRIO 02 - Piscina de Aprendizagem - Aquecedores de Passagem | | | | | |
|--|--|------------------------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m³) | Custos - Modelo Convencional | | | Custo Médio Diário (R\$) |
| | | Volume m³/mês | Fixo R\$/mês | Variável R\$/m³ | |
| Janeiro | 0,87 | 0 -0 | 1,64 | 1,477233 | 15 |
| Fevereiro | 1,24 | 0,01 a 50,00 m³ | 1,64 | 6,291783 | 17 |
| Março | 0,81 | 50,01 a 150,00 m³ | 2,66 | 5,678464 | 15 |
| Abril | 5,14 | 150,01 a 500,00 m³ | 4,70 | 5,272149 | 36 |
| Maio | 10,50 | 500,01 a 2.000,00 m³ | 10,73 | 4,910194 | 62 |
| Junho | 10,16 | 2.000,01 a 3.500,00 m³ | 49,47 | 4,329165 | 61 |
| Julho | 12,14 | 3.500,01 a 50.000,00 m³ | 185,53 | 3,163853 | 70 |
| Agosto | 10,55 | > 50.000,00 m³ | 492,19 | 2,979859 | 63 |
| Setembro | 8,38 | | | | 52 |
| Outubro | 5,12 | | | | 36 |
| Novembro | 1,62 | | | | 19 |
| Dezembro | 0,74 | | | | 14 |
| CENÁRIO 02 - Piscina de Recreação - Aquecedores de Passagem | | | | | |
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m³) | Custos - Modelo Convencional | | | Custo Médio Diário (R\$) |
| | | Volume m³/mês | Fixo R\$/mês | Variável R\$/m³ | |
| Janeiro | 3,50 | 0 -0 | 1,64 | 1,477233 | 28 |
| Fevereiro | 4,96 | 0,01 a 50,00 m³ | 1,64 | 6,291783 | 35 |
| Março | 3,24 | 50,01 a 150,00 m³ | 2,66 | 5,678464 | 27 |
| Abril | 20,53 | 150,01 a 500,00 m³ | 4,70 | 5,272149 | 112 |
| Maio | 41,98 | 500,01 a 2.000,00 m³ | 10,73 | 4,910194 | 217 |
| Junho | 40,59 | 2.000,01 a 3.500,00 m³ | 49,47 | 4,329165 | 210 |
| Julho | 48,51 | 3.500,01 a 50.000,00 m³ | 185,53 | 3,163853 | 249 |
| Agosto | 42,15 | > 50.000,00 m³ | 492,19 | 2,979859 | 218 |
| Setembro | 33,50 | | | | 175 |
| Outubro | 20,46 | | | | 111 |
| Novembro | 6,46 | | | | 42 |
| Dezembro | 2,97 | | | | 25 |

5.6.3. CENÁRIO 03

No cenário 3, os custos de operação englobam gastos com o fornecimento de gás natural, a microturbina e os aquecedores de passagem receberam o mesmo combustível para transformação em energia térmica. Os valores para o m³ do gás varia conforme a modalidade de fornecimento, o gás natural para os aquecedores de passagem enquadra-se na modalidade convencional e para as microturbinas na modalidade cogeração, a tabela 23, ilustra os custos para produção de energia térmica com as microturbinas.

Tabela 23 - Cálculo dos custos de operação das microturbinas – cenário 3

| CENÁRIO 03 - Piscina de Aprendizagem - Microturbina | | | | | |
|---|---|---|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m ³) | Custos - Modelo Cogeração | | | Custo Médio Diário (R\$) |
| | | Volume m ³ /mês | Variável R\$/m ³ | Fixo R\$/m ³ | |
| Janeiro | 260 | Até 5.000,00 m ³ | 0,639920 | 1,491862 | 519 |
| Fevereiro | 260 | 5.000,01 a 50.000,00 m ³ | 0,501601 | | 519 |
| Março | 260 | 50.000,01 a 100.000,00 m ³ | 0,431207 | | 519 |
| Abril | 260 | 100.000,01 a 500.000,00 m ³ | 0,326505 | | 519 |
| Maio | 260 | 500.000,01 a 2.000.000,00 m ³ | 0,337662 | | 519 |
| Junho | 260 | 2.000.000,01 a 4.000.000,00 m ³ | 0,305218 | | 519 |
| Julho | 260 | 4.000.000,01 a 7.000.000,00 m ³ | 0,266525 | | 519 |
| Agosto | 260 | 7.000.000,01 a 10.000.000,00 m ³ | 0,227825 | | 519 |
| Setembro | 260 | > 10.000.000,00 m ³ | 0,188227 | | 519 |
| Outubro | 260 | | | | 519 |
| Novembro | 260 | | | 519 | |
| Dezembro | 260 | | | 519 | |
| CENÁRIO 03 - Piscina de Recreação - Microturbina | | | | | |
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m ³) | Custos - Modelo Cogeração | | | Custo Médio Diário (R\$) |
| | | Volume m ³ /mês | Variável R\$/m ³ | Fixo R\$/m ³ | |
| Janeiro | 515 | Até 5.000,00 m ³ | 0,639920 | 1,491862 | 1.027 |
| Fevereiro | 515 | 5.000,01 a 50.000,00 m ³ | 0,501601 | | 1.027 |
| Março | 515 | 50.000,01 a 100.000,00 m ³ | 0,431207 | | 1.027 |
| Abril | 515 | 100.000,01 a 500.000,00 m ³ | 0,326505 | | 1.027 |
| Maio | 515 | 500.000,01 a 2.000.000,00 m ³ | 0,337662 | | 1.027 |
| Junho | 515 | 2.000.000,01 a 4.000.000,00 m ³ | 0,305218 | | 1.027 |
| Julho | 515 | 4.000.000,01 a 7.000.000,00 m ³ | 0,266525 | | 1.027 |
| Agosto | 515 | 7.000.000,01 a 10.000.000,00 m ³ | 0,227825 | | 1.027 |
| Setembro | 515 | > 10.000.000,00 m ³ | 0,188227 | | 1.027 |
| Outubro | 515 | | | | 1.027 |
| Novembro | 515 | | | 1.027 | |
| Dezembro | 515 | | | 1.027 | |

A tabela 24, ilustra os custos para produção de energia térmica com os aquecedores de passagem a gás natural.

Tabela 24 - Cálculo dos custos de operação dos aquecedores de passagem a gás natural – cenário 3

| CENÁRIO 03 - Piscina de Recreação - Aquecedores de Passagem | | | | | |
|---|---|-------------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Consumo Médio Diário de Gás Natural (m ³) | Custos - Modelo Convencional | | | Custo Médio Diário (R\$) |
| | | Volume m ³ /mês | Fixo R\$/mês | Variável R\$/m ³ | |
| Janeiro | - | 0 -0 | 1,64 | 1,477233 | 49 |
| Fevereiro | 35,47 | 0,01 a 50,00 m ³ | 1,64 | 6,291783 | 185 |
| Março | 85,20 | 50,01 a 150,00 m ³ | 2,66 | 5,678464 | 429 |
| Abril | 63,00 | 150,01 a 500,00 m ³ | 4,70 | 5,272149 | 320 |
| Maio | 59,65 | 500,01 a 2.000,00 m ³ | 10,73 | 4,910194 | 304 |
| Junho | 77,89 | 2.000,01 a 3.500,00 m ³ | 49,47 | 4,329165 | 393 |
| Julho | 80,51 | 3.500,01 a 50.000,00 m ³ | 185,53 | 3,163853 | 406 |
| Agosto | 109,16 | > 50.000,00 m ³ | 492,19 | 2,979859 | 547 |
| Setembro | 118,76 | | | | 594 |
| Outubro | 87,54 | | | | 441 |
| Novembro | 46,56 | | | | 239 |
| Dezembro | 16,93 | | | | 94 |

A simulação proposta, considera a aplicação da cogeração para produção de energia elétrica e visa atender a demanda média mínima diária de energia térmica.

A energia térmica gerada é resultado do rejeito produzido pelas microturbinas, a energia elétrica produzida será utilizada na alimentação elétrica dos equipamentos que compõe o sistema da filtragem das piscinas.

Ao considerar as tarifas cobradas pela concessionária de energia elétrica para o kWh, é possível calcular os valores economizados com a produção de energia elétrica (tabela 25).

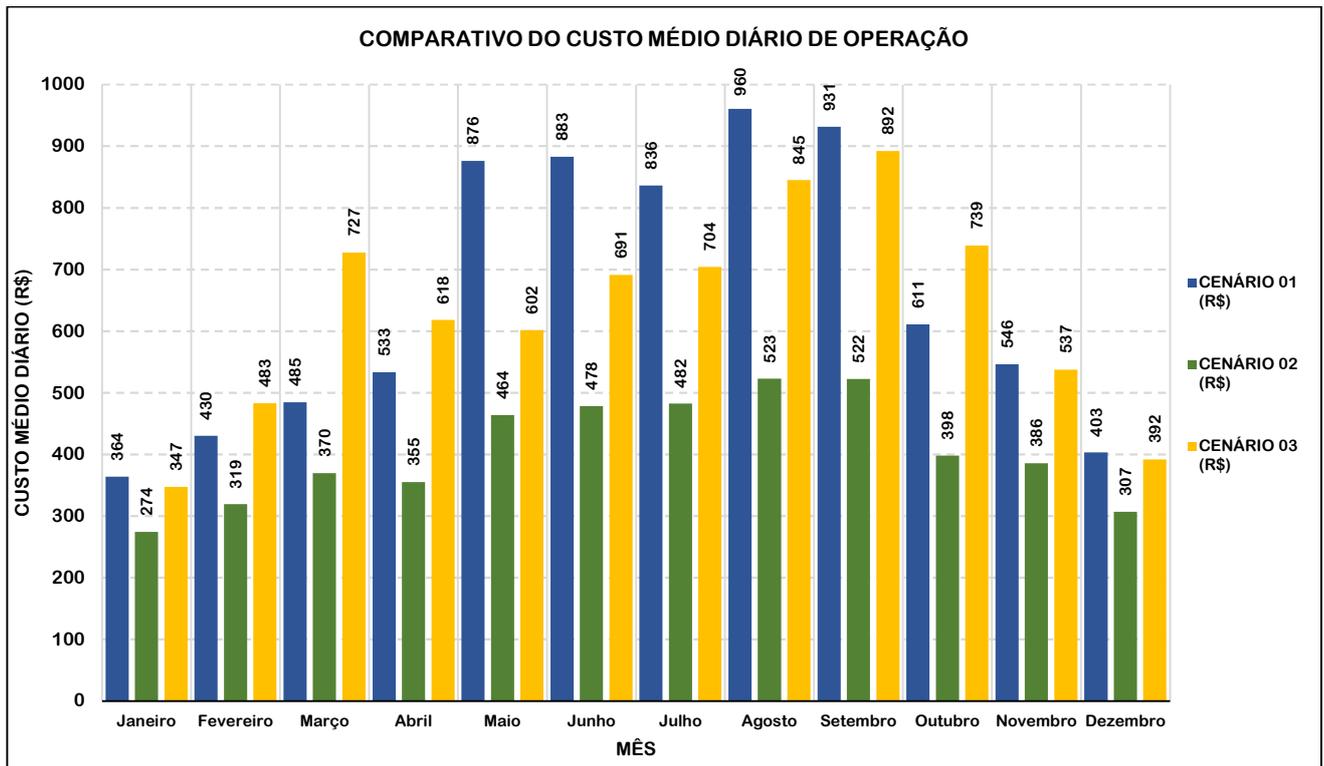
Tabela 25 - Cálculo dos valores da energia elétrica produzida pelas microturbinas – cenário 3

| Microturbina - C30 | | | | | | | |
|--------------------|---|-------------|---------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Mês de Referência | Produção de Energia Elétrica Média Diária | | Custos com Impostos (R\$) | | | | Valor Médio Diário (R\$) |
| | Fora de Ponta (kWh) | Ponta (kWh) | Demanda de Ponta TUSD | Demanda de Ponta TE | Demanda Fora de Ponta TUSD | Demanda Fora de Ponta TE | |
| Janeiro | 567 | 81,00 | 1,41 | 0,47 | 0,11 | 0,29 | 379 |
| Fevereiro | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Março | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Abril | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Maiο | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Junho | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Julho | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Agosto | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Setembro | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Outubro | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Novembro | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Dezembro | 567 | 81,00 | | | | | 379 |
| Microturbina - C65 | | | | | | | |
| Mês de Referência | Produção de Energia Elétrica Média Diária | | Custos com Impostos (R\$) | | | | Valor Médio Diário (R\$) |
| | Fora de Ponta (kWh) | Ponta (kWh) | Demanda de Ponta TUSD | Demanda de Ponta TE | Demanda Fora de Ponta TUSD | Demanda Fora de Ponta TE | |
| Janeiro | 1.302 | 186,00 | 1,41 | 0,47 | 0,11 | 0,29 | 869 |
| Fevereiro | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Março | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Abril | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Maiο | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Junho | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Julho | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Agosto | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Setembro | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Outubro | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Novembro | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |
| Dezembro | 1.302 | 186,00 | | | | | 869 |

A partir dos dados de consumo aferidos no cenário 01 e com os valores estimados para os cenários 02 e 03 é possível analisar os custos para operação do sistema de aquecimento em cada configuração.

O gráfico da figura 48, ilustra o comparativo do custo médio diário para operação do sistema de aquecimento das piscinas nos três cenários. O custo médio diário de operação do cenário simulado leva em conta o valor médio diário de custo com o consumo de gás natural e a dedução dos valores calculados com a produção de energia elétrica.

Figura 48 – Comparativo de custo médio diário de operação do sistema de aquecimento



A tabela 26, ilustra o comparativo dos custos anual para operação do sistema de aquecimento dos três cenários.

Tabela 26 - Cálculo dos custos anual para operação do sistema de aquecimento nos três cenários

| Comparativo Anual de Custos de Operação | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Mês de Referência | Média Diária | | | Média Mensal | | |
| | CENÁRIO 01 (R\$) | CENÁRIO 02 (R\$) | CENÁRIO 03 (R\$) | CENÁRIO 01 (R\$) | CENÁRIO 02 (R\$) | CENÁRIO 03 (R\$) |
| Janeiro | 364 | 274 | 347 | 11.274 | 8.492 | 10.761 |
| Fevereiro | 430 | 319 | 483 | 12.047 | 8.941 | 13.522 |
| Março | 485 | 370 | 727 | 15.021 | 11.455 | 22.540 |
| Abril | 533 | 355 | 618 | 15.987 | 10.645 | 18.544 |
| Mai | 876 | 464 | 602 | 27.147 | 14.377 | 18.652 |
| Junho | 883 | 478 | 691 | 26.475 | 14.350 | 20.737 |
| Julho | 836 | 482 | 704 | 25.919 | 14.957 | 21.827 |
| Agosto | 960 | 523 | 845 | 29.764 | 16.201 | 26.187 |
| Setembro | 931 | 522 | 892 | 27.938 | 15.673 | 26.757 |
| Outubro | 611 | 398 | 739 | 18.936 | 12.340 | 22.898 |
| Novembro | 546 | 386 | 537 | 16.382 | 11.572 | 16.121 |
| Dezembro | 403 | 307 | 392 | 12.489 | 9.512 | 12.150 |
| Custo de Operação Anual (R\$) | | | | 239.378 | 148.514 | 230.695 |
| Economia Operacional (R\$) - Referência: Cenário 01 | | | | | 90.864 | 8.683 |
| % | | | | | 38% | 4% |

A implantação do sistema de aquecimento nos cenários 02 e 03, contempla a infraestrutura necessária para alimentação dos equipamentos, aquisição dos equipamentos e adequações dos espaços para instalação dos equipamentos, peças e acessórios, a tabela 27, ilustra os custos para implantação dos cenários.

Tabela 27 – Comparativo dos custos de investimento dos cenários 02 e 03

| Comparativo dos Custos de Investimento | | |
|--|---------------------|---------------------|
| Descrição do Item | CENÁRIO 02 (R\$) | CENÁRIO 03 (R\$) |
| Aquisição de bombas de calor | 41.061 | - |
| Aquisição de Aquecedores de passagem | 29.502 | - |
| Aquisição de trocadores de calor | 32.186 | 19.311 |
| Aquisição de microturbinas | - | 320.650 |
| Infraestrutura e adequação dos espaços | 458.028 | 91.600 |
| Total | 560.777 | 431.561 |

O custo inicial de implantação estimado para o cenário 02 é de R\$ 560.777 com a aquisição dos equipamentos, acessórios e adequação da infraestrutura e dos espaços. O custo anual de operação do sistema é 38% menor quando comparado ao cenário inicial com redução anual de R\$ 90.864.

O custo inicial de implantação estimado para o cenário 03 considera o reaproveitamento parcial de equipamentos e infraestrutura, os demais equipamentos, os acessórios e as adequações necessárias dos espaços são de R\$ 431.561. O custo anual de operação do sistema é 4% menor quando comparado ao cenário inicial com redução anual de R\$ 8.683. O período de retorno considerado no estudo é de 10 anos.

O *payback* simples para o investimento no cenário 02 é de:

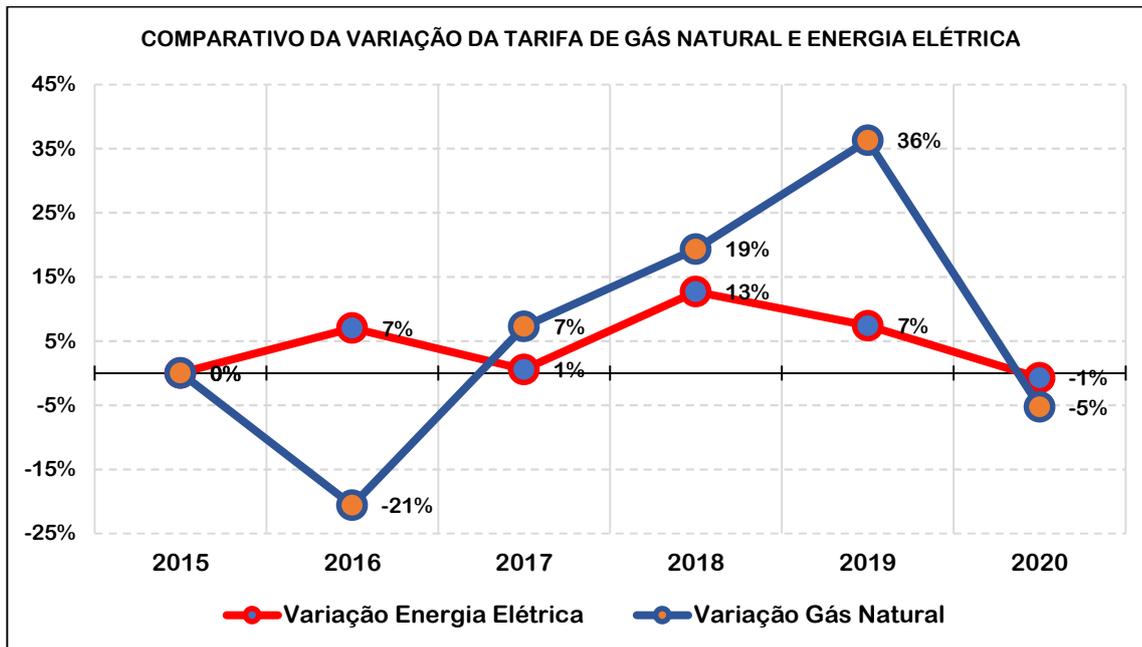
$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Economia Anual}} = 6,17 \text{ anos}$$

O *payback* simples para o investimento no cenário 03 é de:

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Economia Anual}} = 54,98 \text{ anos}$$

Ao considerar o histórico das tarifas praticadas pelas concessionárias de energia elétrica e gás natural nos últimos 5 anos (figura 49), para o segmento comercial e de cogeração respectivamente, é possível verificar que o preço do m³ do gás natural foi impactado pelos reajustes consideráveis entre os anos de 2016 e 2019. A tarifa de energia elétrica também sofreu reajustes, porém, com a aplicação de índices menores.

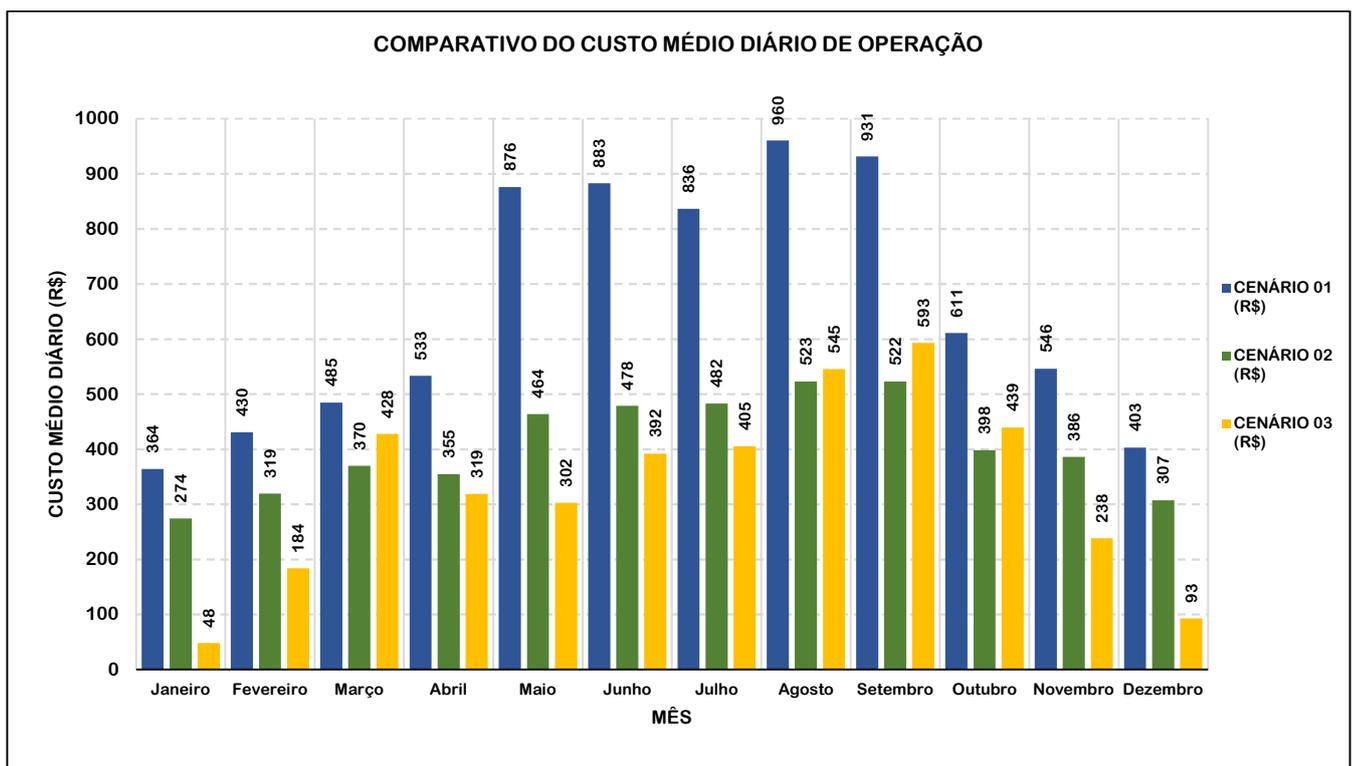
Figura 49 – Comparativo de custo médio diário para produção de energia térmica



Fonte: SIGA ANEEL e ARSESP (2021).

O gráfico da figura 50, ilustra os custos de operação do sistema de aquecimento para os três cenários, considerando a tarifa no ano de 2015, no valor de R\$ 1,60741/ m³, para o gás natural - segmento de cogeração, mantendo o custo da tarifa de gás natural – segmento comercial e da tarifa de energia elétrica utilizada no comparativo anterior dos cenários.

Figura 50 – Comparativo de custo médio diário de operação do sistema de aquecimento



A tabela 28, ilustra o novo comparativo dos custos anual para operação do sistema de aquecimento dos três cenários.

Tabela 28 - Cálculo dos custos anual para operação do sistema de aquecimento nos três cenários

| Comparativo Anual de Custos de Operação | | | | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Mês de Referência | Média Diária | | | Média Mensal | | |
| | CENÁRIO 01 (R\$) | CENÁRIO 02 (R\$) | CENÁRIO 03 (R\$) | CENÁRIO 01 (R\$) | CENÁRIO 02 (R\$) | CENÁRIO 03 (R\$) |
| Janeiro | 364 | 274 | 48 | 11.274 | 8.492 | 1.481 |
| Fevereiro | 430 | 319 | 184 | 12.047 | 8.941 | 5.140 |
| Março | 485 | 370 | 428 | 15.021 | 11.455 | 13.260 |
| Abril | 533 | 355 | 319 | 15.987 | 10.645 | 9.563 |
| Maio | 876 | 464 | 302 | 27.147 | 14.377 | 9.372 |
| Junho | 883 | 478 | 392 | 26.475 | 14.350 | 11.757 |
| Julho | 836 | 482 | 405 | 25.919 | 14.957 | 12.547 |
| Agosto | 960 | 523 | 545 | 29.764 | 16.201 | 16.908 |
| Setembro | 931 | 522 | 593 | 27.938 | 15.673 | 17.777 |
| Outubro | 611 | 398 | 439 | 18.936 | 12.340 | 13.618 |
| Novembro | 546 | 386 | 238 | 16.382 | 11.572 | 7.141 |
| Dezembro | 403 | 307 | 93 | 12.489 | 9.512 | 2.870 |
| Custo de Operação Anual (R\$) | | | | 239.378 | 148.514 | 121.434 |
| Economia Operacional (R\$) - Referência: Cenário 01 | | | | | 90.864 | 117.944 |
| | | | | | % | |
| | | | | | 38% | 49% |

O custo anual de operação do sistema de aquecimento do cenário 02 mantém a redução de 38% quando comparado ao cenário inicial, com economia anual de R\$ 90.864, o *payback* simples é de 6,17 anos.

O novo custo anual de operação do sistema de aquecimento do cenário 03, considerando a tarifa do gás natural no ano de 2015, reduziu em 49% em comparação ao cenário inicial, com economia de R\$ 117.944. O novo *payback* simples, é de:

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Economia Anual}} = 3,66 \text{ anos}$$

6. CONCLUSÃO

O estudo e implantação da cogeração nos segmentos industrial, comercial e residencial vem crescendo anualmente no Brasil. A legislação que trata do assunto vem se modernizando com regras claras e que incentivam os investimentos em projetos com centrais de cogeração, tornando os viáveis. A cogeração de energia pode alcançar um fator de utilização de até 85%, servindo como mecanismo de eficiência energética.

O estudo de caso, avaliou as características técnicas do parque aquático do Sesc Consolação para determinar a demanda térmica média necessária para o aquecimento d'água das piscinas, e com isso auxiliar na escolha do equipamento para cogeração.

O sistema de aquecimento d'água existente das piscinas é composto por bombas de calor elétricas e aquecedores de passagem a gás natural. Ao avaliar o sistema e a oferta de gás natural no empreendimento, optou-se pela implantação de cogeração com a instalação de microturbinas a gás natural em substituição as bombas de calor elétricas, a escolha da tecnologia e dos equipamentos foi com intuito de reduzir os custos com a geração de energia térmica.

O comparativo do custo operacional anual do sistema de aquecimento é baseado no cenário 01, ou seja, o cenário inicial do estudo. O custo estimado para operação do sistema de aquecimento do cenário 02 é 38% menor em relação ao custo do cenário inicial, o *payback* simples para o investimento inicial é de 6,17 anos com período de retorno adotado de 10 anos, portanto, o investimento é viável para o período proposto.

No cenário 03, a estimativa inicial apresentou uma redução de 4% no custo de operação do sistema, mas o *payback* simples para o investimento inicial é de 54,98 anos, ficando bem acima do período de retorno adotado para o estudo.

Em uma segunda estimativa que considerou os valores da tarifa para o gás natural – segmento cogeração, no ano de 2015, e manteve os mesmos custos de implantação do sistema de cogeração, apresentou uma redução de 49% no custo de operação do sistema e *payback* simples para o investimento inicial de 3,66 anos.

O volume consumido de gás natural no cenário 03 é significativo e qualquer elevação ou redução da tarifa cobrada pela concessionária impacta diretamente na viabilidade da tecnologia. O valor praticado para o m³ do gás no segmento de cogeração em 2015 foi de R\$ 1,60741 e R\$ de R\$ 2,07285 em 2021, ou seja, uma elevação da tarifa de R\$ 0,46544 por m³ de gás natural fornecido.

Outro fator que impacta diretamente na viabilidade da tecnologia é o valor do dólar, já que o principal equipamento é tabelado na moeda americana. As estimativas de custos consideraram a cotação da moeda americana no mês de fevereiro de 2021, com valor de R\$ 5,42 e como comparativo a cotação no mês de fevereiro de 2015 foi de R\$ 2,82.

A redução das tarifas do gás natural e a desvalorização do dólar frente ao real, são mecanismos importantes para tornar o investimento na tecnologia de cogeração viável em um período de retorno razoável.

A configuração do sistema em um “ciclo combinado”, aproveitando o calor residual do processo de aquecimento d’água das piscinas em outro processo, já que as perdas chegam próximas de 60%, é outro fator que pode contribuir para redução dos custos de implantação e operação do sistema.

Apesar da proposta de cogeração inicialmente não ser viável neste caso, a tecnologia pode e deve ser estudada para aplicação em empreendimentos do setor terciário. No caso da instituição estudada, este trabalho pode contribuir para a iniciativa de novos estudos, principalmente na fase de concepção dos projetos para as novas UO.

A cogeração pode ser aplicada em sistema de climatização, tendo em vista que os sistemas de climatização das UO do Sesc são responsáveis por uma grande fatia do custo anual operacional. A cogeração também pode ser estudada e aplicada para que opere em períodos específicos, como por exemplo nos horários de ponta, em que a tarifa sobre o consumo de energia elétrica é muito maior comparada com outras fontes de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Relatório de Combustível – Novembro 2020**. Paris, 2020. Disponível em < <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

_____. **Relatório do Mercado de Eletricidade – Dezembro 2020**. Paris, 2020. Disponível em < <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity#abstract>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

_____. **Energy Policies Of IEA Countries – 2018 Review**. Paris, 2018. Disponível em < https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee5f4f0d-cd59-40f9-924e-ef260d248ccc/Energy_Policies_of_IEA_Countries_Finland_2018_Review.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa Média por Classe de Consumo e por Região**. Brasília. Disponível em: <http://relatorios.anel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampRegCC.xlsx&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1>. Acesso em: 17 out. 2020.

_____. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Brasília. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>>. Acesso em: 17 out. 2020.

_____. **Cadernos Temáticos ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/livros//asset_publisher/NBC33JHYPjrv/content/cadernostematicos-aneel-micro-eminigeracaodistribuida2edicao/656835?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Flivros%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_NBC33JHYPjrv%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn2%26p_p_col_count%3D19>. Acesso em: 15 fev. 2021.

_____. **Resolução Normativa nº 77, de 18/08/2004**. Brasília, 2006. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/outras-demandas/655808?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 05 jan. 2021.

_____. **Resolução Normativa nº 235, de 14/11/2006**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

_____. **Resolução Normativa nº 482, de 17/04/2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

_____. **Resolução Normativa nº 687, de 24/11/2015**. Brasília, 2006. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2021.

_____. **Tarifa Média por Classe de Consumo e por Região**. Brasília. Disponível em: <http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSampRegCC.xlsx&Source=http://relatorios.aneel.gov.br/RelatoriosSAS/Forms/AllItems.aspx&DefaultItemOpen=1. Acesso em: 17 out. 2020.

AGÊNCIA REGULADORA DE SANEAMENTO E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO - ARSESP. **Deliberação ARSESP nº 296, de 19/01/2012**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.arsesp.sp.gov.br/LegislacaoArquivos/ldl2962012.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

_____. **Deliberação ARSESP nº 1.136, de 25/02/2021**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.arsesp.sp.gov.br/SitePages/informacoes-economico-financeiras/deliberacao.aspx>. Acesso em: 17 out. 2020.

ALFA LAVAL, **Catálogo**. 2021. Disponível em: <<https://www.alfalaval.com.br/produtos/transferencia-de-calor/trocadores-de-calor-a-placa/>. Acesso em: 11 jun. 2021.

ANDREOS, R. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de pequenas centrais de cogeração a gás natural no setor terciário do Estado de São Paulo**. 2013. Dissertação de Mestrado - Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: doi:10.11606/D.86.2013.tde30042013-154221. Acesso em: 09 out. 2020.

ANDREASSA, A. **Estudo de Caso de Cogeração em Um Condomínio Residencial**. 2016. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://pecepoli.com.br/monografias/monografia_48957_291.pdf. Acesso em: 09 out. 2020.

ANPP. **Revista ANPP**. São Paulo, n. 145, p. 28 – 31, 2019. Disponível em <<http://www.anapp.org.br/revistas>. Acesso em: 15.out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT Catálogo**. São Paulo. 2020 Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/gep.aspx?ID=350458>. Acesso em: 15 out. 2020.

_____. **NBR 10818: Qualidade de Água de Piscina – Procedimento**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Conceitos e Tecnologias**. São Paulo. Disponível em: <<https://www.cogen.com.br/cogeracao/conceito-e-tecnologias>. Acesso em: 15 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO EUROPEIA PARA A PROMOÇÃO DA COGERAÇÃO. **Press Release on 2050 – Study Final**. Brussels, 2020. Disponível em:

https://www.cogeneurope.eu/images/Press_Release_on_2050_study_final.pdf. Acesso em: 02 mar. 2021.

_____. **Press Release on 2050 – Study Final**. Brussels, 2020. Disponível em: https://www.cogeneurope.eu/images/Press_Release_on_2050_study_final.pdf. Acesso em: 02 mar. 2021.

BHATIA, S.C. **Advanced Renewable Energy Systems (Part 1 and 2)**. 2014. Nova Deli. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9781782422693/advanced-renewable-energy-systems>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Decreto nº 5.163, de 30/07/2004**. Brasília, 2004. Disponível em: < <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-5163-30-julho-2004-533148-norma-pe.html>. Acesso em: 05 jan. 2021.

CANAL SOLAR. 13 jan. 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/>. Acesso em: 02 mar. 2021.

CAPSTONE. **Microturbinas**. 2021. Disponível em: < <https://www.capstonegreenenergy.com/products/energy-conversion-products/capstone-microturbines/c65>. Acesso em: 02 mar. 2021.

COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. **Tarifas**. São Paulo. COMGAS. 2021. Disponível em: <https://www.comgas.com.br/tarifas/cogeracao/?utm_source=pesquisa_interna_site_comgas&utm_medium=site&utm_campaign=pesquisa_interna_site_comgas&utm_content=135. Acesso em: 17 out. 2020.

COSTA, A. A. S. **Análise técnico-econômica da utilização de um gerador a gás natural em um sistema de cogeração: estudo de caso**. 2003. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99349/costa_aas_me_guara.pdf?sequence=1. Acesso em: 04 mar.2021.

DINÇER, I.; ZAMFIRESCU, C. **Sustainable Energy Systems and Applications**. London. Institute of Technology (UOIT), Fac. Engineering & Applied Science University of Ontario Oshawa Canada. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 – Base 2019**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

_____. **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2020**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 09 fev. 2021.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 25 fev. 2021.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2020. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 25 fev. 2021.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE NATATION. **Fina General Rules – Julho 2019**. Switzerland, 2019. Disponível em <<https://resources.fina.org/fina/document/2021/02/17/9a840e53-1df4-40c4-a6ec-2fe993a45c14/Interim-Report-Olympic-Aquatics.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

HEIMER, **Microturbinas**. 2021. Disponível em: <<http://www.leonheimer.com.br/v3/br/microturbina.html>. Acesso em: 11 mar. 2021.

KEHLHOFER, R.H.; WARNER, J.; NIELSEN, H.; BACHMAN, R. **Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plant**. Oklahoma: Penn Well Publishing Company, 1999.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/5809-anuario-estatistico-2020>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

MALUF, C. A. **Desempenho energético e caracterização dos sistemas de aquecimento de água de piscinas**. 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.3.2010.tde-20082010-150300>. Acesso em: 15 fev.2021.

MARTENS, A. **The energetic feasibility of CHP comparede to the separate production of heat and power**. *Applied Thermal Engineering*. V.18. 1998. p. 935-946.

MULTITECHECOSYSTEMS, **Bombas de Calor**. 2021. Disponível em: <<https://multitechecosystems.com.br/bomba-de-calor/fasterm-aquecimento-agua/>>. Acesso em: 09 jun. 2021.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. **Lei nº 10.848, de 15/03/2004**. Brasília, 2004. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.848.htm. Acesso em: 05 jan. 2021.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21 ST CENTURY. **Renewables 2018 Global Status Report**. Paris, 2018. Disponível em < <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2021.

RINNAI, **Catálogo**. 2021. Disponível em: < <https://www.rinnai.com.br/manuais-catalogos>. Acesso em: 11 mar. 2021.

ROMAGNOLI, Henrique Cesar. **Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do setor elétrico brasileiro**. 2005. Dissertação de Mestrado, Universidade

Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102160/221032.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 fev.2021.

SIMÕES-MOREIRA, **Slide de aula – Ciclo motores a ar**. Graduação em engenharia mecânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2020. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5532999/mod_resource/content/10/11_Ciclos-Motores-Ar_2020_Exercicio-Extra.pdf. Acesso em: 11 mar. 2021.

SODRAMAR, **Manuais**. 2021. Disponível em: <https://www.sodramar.com.br/manuais/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

SOLETROL, **Produtos para Piscina**. 2021. Disponível em: <https://www.soletrol.com.br/produtos/piscinas/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

TURBOCRAFT, **Turbinas**. 2021. Disponível em: <https://www.turbocraft.com.br/turbinas>. Acesso em: 11 mar. 2021.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica**, tradução da 5ª ed. Americana, São Paulo Editora Edgard Blucher, 1994. Disponível em: https://www.academia.edu/11608992/Fundamentos_da_Termodinamica_LIVRO_Van_Wylen_Sonntag_5a_edicao. Acesso em: 06 mar.